

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE
INSTABILIDADES NAS ARRIBAS DO CONCELHO DE
TORRES VEDRAS**

LUÍS DINARTE GONÇALVES GOUVEIA

DISSERTAÇÃO
MESTRADO EM GEOLOGIA DO AMBIENTE, RISCOS GEOLÓGICOS E
ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

2013

**UNIVERSIDADE DE LISBOA
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**SUSCEPTIBILIDADE À OCORRÊNCIA DE
MOVIMENTOS NAS ARRIBAS DO LITORAL DO
CONCELHO DE TORRES VEDRAS**

LUÍS DINARTE GONÇALVES GOUVEIA

DISSERTAÇÃO

**MESTRADO EM GEOLOGIA DO AMBIENTE, RISCOS GEOLÓGICOS E
ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO**

Dissertação orientada pelo Professor Doutor Fernando M. S. F. Marques

2013

Agradecimentos

Este pequeno “retalho” não é realmente grande o suficiente para expressar o meu reconhecimento e o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que fizeram parte, directa e indirectamente, do meu percurso académico nestes últimos dois anos.

Em primeiro lugar gostaria de manifestar a total gratidão ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Marques, pela disposição demonstrada ao longo do período de elaboração da corrente dissertação, pela orientação concedida e conhecimento transmitido sobre a temática das arribas, que em muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica.

Quero agradecer aos meus amigos, “co-orientadores” e excelentes investigadores, Carla Rocha, Luís de Almeida, Manuel Vasconcelos, Nuno Penacho, Rita Matildes, Sónia Queiroz e Victor Garzón, pela informação cedida, pela constante ajuda, apoio, preocupação e incentivo, como também pelas discussões construtivas, não só sobre esta temática, mas sobre os problemas que todos nós enfrentamos no dia-a-dia. Obrigado por me deixarem fazer parte da vossa magnífica equipa, e pelo cantinho “reservado” no laboratório. Nunca vos esquecerei.

Um agradecimento aos colegas de curso e de grupo, Madalena Leitão e João Fevereiro pelo companheirismo, acompanhamento no campo e discussões produtivas, não só sobre os trabalhos desenvolvidos em conjunto, como também sobre a geologia em geral

Ao pessoal da modelação costeira do segundo piso, em particular à Ana Silva, por me ter facultado os dados sobre a agitação marítima para o sector litoral de Torres Vedras.

À “Red Team”, amigos inseparáveis de longa data, o meu obrigado pela vossa boa disposição e amizade. Sem vocês a vida não seria a mesma coisa.

Agradeço à colega e amiga Filipa Sousa pelo apoio prestado desde o início, pela total disponibilidade e ajuda nas saídas de campo, pela troca de informação diária sobre a temática das instabilidades de vertentes e pelas indicações essenciais e consequente revisão da presente dissertação. Não tenho dúvidas da tua capacidade e sei que serás uma excelente profissional.

À Ana Catarina o meu profundo agradecimento, pela pessoa extraordinária que és, por tudo o que deste de ti que não pude retribuir. Obrigado por confiares em mim desde o princípio, pelos bons momentos partilhados e fundamentalmente pela força que me transmitiste quando mais necessitava.

Por fim agradeço à minha família, a quem dedico este trabalho, pois sem eles nada era possível. Obrigado pelo amor, pela paciência (que não foi pouca) e apoio incondicional ao longo destes anos. Em especial agradeço a minha “terrorista”, à menina dos meus olhos, que me deixa sempre a sorrir mesmo quando nada parece correr bem. Amo-te muito maninha, tenho muitas saudades tuas!

Índice de Texto

Agradecimentos.....	i
Índice de Texto.....	iii
Índice de Figuras	vii
Índice de Gráficos	xi
Índice de Tabelas.....	xiv
Lista de Acrónimos	xix
Resumo.....	xxi
Abstract	xxiii
1. Introdução	1
2. Enquadramento e Caracterização Geral	5
2.1 Geografia.....	5
2.2 Geomorfologia	5
2.3 Caracterização Tectónica Regional	7
2.4 Caracterização Geológica Regional	12
2.5 Climatologia.....	22
2.6 Hidrogeologia.....	25
2.7 Hidrologia Marítima.....	26
3. Tipos, Processos e Geodinâmica Associada aos Movimentos de Vertente.....	28
3.1 Introdução	28
3.2 Geometria dos Movimentos de Vertente.....	29
3.3 Classificação dos Movimentos de Vertente	31
3.3.1 Tipologia e Características dos Movimentos de Vertente	33
3.3.1.1 Quedas ou desabamentos (<i>falls</i>)	34
3.3.1.2 Tombamentos (<i>topples</i>).....	35
3.3.1.3 Escorregamentos (<i>slides</i>).....	36
3.3.1.4 Expansão Lateral (<i>lateral spreading</i>).....	38
3.3.1.5 Fluxos (<i>flows</i>).....	39

3.4	Causas e Factores que Contribuem para Ocorrência de Movimentos de Vertente	40
4.	Evolução e Instabilidades nas Arribas Litorais	44
4.1	Vulnerabilidade, Perigosidade e Risco.....	48
5.	Métodos Estatísticos.....	50
5.1	Introdução	50
5.2	Método do Valor Informativo	51
5.3	Curva ROC (<i>Receiver Operating Characteristic</i>).....	52
6.	Metodologias.....	56
6.1	Introdução	56
6.2	Princípios da Visão Estereoscópica.....	56
6.3	Inventariação de Movimentos em arribas por fotointerpretação	57
6.4	Definição da Linha de Crista, de Sopé e Unidades de Terreno	61
6.5	Factores de Predisposição e seu Processamento	63
6.5.1	Considerações Gerais	63
6.5.1.1	Factores de Predisposição utilizados	64
6.5.1.1.1	Altura.....	65
6.5.1.1.2	Declive	65
6.5.1.1.3	Exposição (<i>Aspect</i>).....	67
6.5.1.1.4	Direcção de Fluxo (<i>Flow Direction</i>)	68
6.5.1.1.5	Curvatura.....	70
6.5.1.1.6	Litologia	72
6.5.1.1.7	Estrutura	72
6.5.1.1.8	Falhas	73
6.5.1.1.9	Protecção Sopé	74
6.5.1.1.10	Exsurgências.....	75
6.5.1.1.11	Sapas.....	77
6.5.1.1.12	Potência Média	77
7.	Análise de Susceptibilidade	80

7.1	Apresentação e Discussão de Resultados	80
7.1.1	Considerações Gerais	80
7.1.2	Análise Sensitiva	82
7.1.2.1	Inventário 1947-2010	83
7.1.2.1.1	Curva ROC de Validação	92
7.1.2.2	Inventário 1947-1980	93
7.1.2.2.1	Curva ROC de Validação	102
7.1.2.2.2	Validação Curvas ROC de Predição	103
7.1.3	Média dos Valores Absolutos	104
7.1.3.1	Inventário 1947-2010	104
7.1.3.1.1	Curva ROC de Validação	111
7.1.3.2	Inventário 1947-1980	112
7.1.3.2.1	Curva ROC de Validação	120
7.1.3.2.2	Validação Curvas ROC de Predição	121
8.	Discussão e Cartografia de Susceptibilidade Resultante	122
8.1	Mapa Final de Susceptibilidade	125
9.	Conclusão	132
10.	Bibliografia	136
11.	Anexos.....	146
	Anexo 1	ii
	Anexo 2	xi

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Enquadramento geográfico do sector litoral em estudo (delimitado a preto).....	5
Figura 2.2 – Fotos com alguns aspectos geomorfológicos existentes no sector estudado.	7
Figura 2.3 – Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana (adaptado de Kullberg <i>et al.</i> , 2006)	8
Figura 2.4 - Delimitação das sub-bacias do Sector Central da Bacia Lusitaniana (adaptado de Montenat <i>et al.</i> , 2006)	9
Figura 2.5 - Localização dos diapiros na Bacia Lusitânica (adaptado de Kullberg <i>et al.</i> , 2006).	10
Figura 2.6 – Exemplos de falhas detectadas na área estudada.	11
Figura 2.7 – Totalidade das falhas presentes no sector litoral de Torres Vedras.	11
Figura 2.8 - Principais Formações que afloram na área de estudo (adaptado de Kullberg e Soares, 2005).	14
Figura 2.9 - Cartografia geológica do sector litoral de Torres Vedras.....	14
Figura 2.10 - Formação da Dagorda junto à Praia de Santa Cruz (Foto de Madalena Leitão). .	15
Figura 2.11 –Afloramento da Formação da Abadia junto a praia de Santa Cruz. Do lado direito pode-se observar o enchimento local de fácies conglomeráticas.	16
Figura 2.12 - Arribas pertencentes a Unidade da Praia da Amoreira - Porto Novo que aforam em dois locais distintos. A - Afloramento junto à Praia da Amoreira; B - Afloramento junto à Praia de Porto Novo próximo à foz do Alcabrichel.	17
Figura 2.13 - Aspecto da Formação do Sobral junto à Praia Azul (A) e Praia da Amoreira (B).	18
Figura 2.14 Aspecto da Formação do Freixial nas arribas da Praia das Peças (A) e Praia de Cambelas (B).....	19
Figura 2.15 – Aspecto das arribas areníticas onde aflora a Formação do Bombarral. Como se pode observar a sua face encontra-se com alguma vegetação devido à presença constante de exsurgências.	20
Figura 2.16 - Arribas cretácicas pertencentes à Formação de Almargem junto a praia do Navio.	21

Figura 2.17 - Filões aflorantes no sector estudado. A - Filão traquítico na Praia de Cambelas; B - Filão dolerítico junto ao à praia do Porto da Assenta.	22
Figura 3.1 - Termos que descrevem a morfologia de um escorregamento (adaptado de Cruden e Varnes, 1996).	29
Figura 3.2 - Componentes de um <i>landslide</i> longo (adaptado de Fell <i>et al.</i> , 2000).....	30
Figura 3.3 - Esquema de uma Queda de Blocos (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e respectiva foto (B) de um desabamento no terreno junto ao Porto de Pesca da Assenta.	34
Figura 3.4 - Esquema de um Tombamento (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008). Exemplos de Tombamentos na área de estudo: A – Tombamento na Praia de Cambelas; B – Tombamento ocorrido na Praia da Mexilhoeira com um consecutivo escorregamento sobre a face da arriba.	36
Figura 3.5 - Esquematização de um escorregamento rotacional (A) e translacional (C) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) com respectivos exemplos no terreno: Escorregamento rotacional (B) junto à Praia da Amoreira e Escorregamento translacional na Praia de Cambelas (D).....	38
Figura 3.6 - Esquema com expansão lateral (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e respectivo aspecto no terreno (B) (Praia de Cambelas).	39
Figura 3.7 - Figura esquemática de um fluxo de terras (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e exemplos desse tipo de movimento no troço estudado: fluxo de terras junto à Praia das Peças (B); fluxo de grandes dimensões próximo do Porto de pesca de Assenta (C).	40
Figura 3.8 - Esquematização dos factores condicionantes e preparatórios de movimentos de vertente (modificado de Popescu, 1994)	41
Figura 3.9 - Gráfico que mostra a evolução do Factor de Segurança e dos factores condicionantes em relação ao tempo (modificado de Popescu, 1994).	42
Figura 4.1 - A experiência de laboratório realizada por Sunamura, em que se pode observar a erosão provocada no sopé originando uma sapa (adaptado de Sunamura (1992)).....	44
Figura 4.2 – Factores que afectam a erosão do sopé pela ondulação. (Sunamura, 1983 <i>in</i> Marques, 1997).	45
Figura 5.1 – Esquematização gráfica da curva ROC (adaptado de Braga 2003).	54

Figura 6.1 - Série de secções das fotografias aéreas utilizadas para a o inventário, para a área de Santa Cruz. A- Voo RAF 1947; B – Voo USAF 1958; C- Voo FAP 1980; D- Voo Municipia 2010.....	60
Figura 6.2 - Exemplos de ocupação de estruturas antrópicas no sector Litoral de Torres. Estrada de acesso a praia junto à Praia da Amoreira (A); Estrada de alcatrão com acesso à Praia de Santa Cruz com edifício construído no talude (B).	61
Figura 6.3 - Linhas de Crista e Sopé delineadas em ambiente GIS (A) e exemplo da sua identificação no terreno (norte da Praia Azul) (B)	62
Figura 6.4 – Pequena secção costeira com as diferentes unidades de terreno criadas. A- Unidades de terreno de 10 m; B - Unidades de terreno de 20 m; C - Unidades de terreno de 40 m.....	63
Figura 6.5 – Aspecto do modelo TIN numa secção do sector litoral junto à Praia da Foz do Sizandro.....	64
Figura 6.6 - Aspecto do <i>raster</i> obtido para a altura da secção costeira apontada na figura anterior (A). Movimento junto à Praia da Mexilhoeira onde a altura máxima é inferior ao comprimento da zona de acumulação de blocos movimentados.....	65
Figura 6.7 - MDT do declive junto à Praia da Foz do Sizandro.....	66
Figura 6.8 - Inclinação do declive θ , e direcção da vertente Ψ (By et al., 2001).	67
Figura 6.9 - Função exposição e as cores de output conforme a orientação da vertente.....	67
Figura 6.10 - Aspecto do MDT da exposição com os outputs para cada direcção (A), e aparência posterior à sua reclassificação (B).	68
Figura 6.11 - MDT da direcção de fluxo para a mesma secção da figura 7.10.....	69
Figura 6.12 - Modelo matricial inicialmente com valores de elevação (a) e <i>output</i> com valores da direcção de fluxo (b) (adaptado de <i>How Flow Direction works, Arcgis 10 help</i>).....	69
Figura 6.13 - Matriz tridimensional 3x3 usada para a curvatura em perfil (adaptado de Zevenbergen e Thorne, 1987).	70
Figura 6.14 - Exemplo do aspecto da curvatura em planta adquirida para a área estudada.	72
Figura 6.15 – Aspecto de alguns tipos de estrutura aflorantes no troço estudado. A – Estrutura inclinada para Sudoeste a favor do declive junto à Praia de Cambelas, pertencente à Formação do Freixial; B – Estrutura inclinada para Sudeste contra do declive da Formação da Almargem	

entre a Praia do Navio e da Vigia. C – Estrutura com pendor para Sudoeste relativa à Formação da Abadia, próximo da Praia de Santa Cruz. D – Estrutura horizontal correspondente à Formação do Bombarral junto à Praia da Mexilhoeira. 73

Figura 6.16 - Alguns tipos de protecção do sopé existentes no sector costeiro de Torres Vedras. A – Plataforma na Praia de Cambelas; B - Praia e Blocos junto à Praia das Peças; C – Blocos de grande dimensão próximo da Praia de Porto Novo; D – Praia de grande extensão a Sul da Praia da Vigia. 75

Figura 6.17 – Exemplos de exsurgências na área de estudo. A – Exsurgência nas arribas da Praia da Mexilhoeira; B – Exsurgências em camada produtiva a Norte da Praia de Porto Barril; C – Circulação de água e exsurgências junto à Praia da Mexilhoeira..... 76

Figura 6.18- Exemplo de sapas na Praia das Peças (A) e a Norte da Praia de Porto Barril (B). 77

Figura 6.19 - Secção entre a Praia de Santa Cruz e Norte da Praia da Vigia com os respectivos pontos com informação sobre a potência média da ondulação para a batimétrica dos 10m, posteriormente projectados, através de polígonos, para Oeste com o propósito de intersectar a face da arriba. 78

Figura 8.1 Troço costeiro de Torres Vedras com os respectivos sectores referentes ao mapa de susceptibilidade final..... 127

Figura 8.2 – Mapa de susceptibilidade final sector A e B..... 128

Figura 8.3 – Mapade susceptibilidade , sector C, D e E 129

Figura 8.4 - Mapa de susceptibilidade , sector F..... 130

Índice de Gráficos

Gráfico 2.1 – Precipitação média anual no período 1980-2010 na estação de Pragança (Cadaval).	24
Gráfico 7.1 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 10 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	83
Gráfico 7.2 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 20 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	84
Gráfico 7.3 - Curvas de Sucesso efectuadas alusivas a análise sensitiva para as unidades de terreno de 40 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	84
Gráfico 7.4 - Curvas de Sucesso com base nas diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com o valor da AAC mais elevado.	86
Gráfico 7.5 - Curvas de Sucesso geradas pelas diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	86
Gráfico 7.6 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	87
Gráfico 7.7 – Curva de Sucesso com a taxa de sucesso mais elevada correspondente as unidades de 40 m.	91
Gráfico 7.8 - Curvas ROCs para as 3 diferentes dimensões de unidades de terreno. A AAC mais elevada neste caso, pertence as unidades de 40 m.	92
Gráfico 7.9 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 10 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	93
Gráfico 7.10 - Curvas de Sucesso referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 20 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	94
Gráfico 7.11 - Curvas de Sucesso referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 40 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.	94

Gráfico 7.12 - Curvas de Sucesso de acordo com as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com o valor da AAC mais elevado.	96
Gráfico 7.13 - Curvas de sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.	97
Gráfico 7.14 - Curvas de sucesso conforme as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.	97
Gráfico 7.15 - Curva de Sucesso com a taxa de sucesso mais elevada correspondente a unidades de 40 m.	101
Gráfico 7.16 – Curvas ROC para as três unidades de terreno com AAC mais elevada, pertencentes as unidades de 20 m.	102
Gráfico 7.17 – Curvas ROC de predição para as três unidades de terreno. O modelo preditivo mais elevado corresponde as unidades de terreno de 40 m.	103
Gráfico 7.18 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	106
Gráfico 7.19 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	106
Gráfico 7.20 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	107
Gráfico 7.21 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a média dos valores informativos absolutos para unidades de 40 m. A preto está exposta a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.	111
Gráfico 7.22 - Curva ROCs para as três diferentes dimensões de unidades de terreno. A AAC mais elevada pertencente às unidades de 40 m (a vermelho).	112

Gráfico 7.23 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A curva ideal está assinalada a preto e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.	114
Gráfico 7.24 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.	114
Gráfico 7.25 - Curvas de Sucesso conforme as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.	115
Gráfico 7.26 - AAC correspondente a taxa de sucesso mais elevada condizente com as unidades de 40 m.	119
Gráfico 7.27 - Curvas ROC para as três unidades de terreno com AAC mais elevada, neste caso pertencente às unidades de 40 m.	120
Gráfico 7.28 - Curvas ROC de predição para as três unidades de terreno.	121

Índice de Tabelas

Tabela 3.1 - Classificação das tipologias de movimentos de vertente segundo Cruden e Varnes (1996).....	32
Tabela 3.2 – Terminologia dos movimentos, proposta por Rodrigues (1998).	33
Tabela 6.1 – Voos utilizados para a execução do inventário de vertente.	59
Tabela 7.1 - Características gerais para as diferentes unidades de terreno pertencente ao inventário de 1947-2010.....	81
Tabela 7.2 - Características gerais para as diferentes unidades de terreno de acordo com inventário de 1947-1980.....	82
Tabela 7.3 – AAC taxas de sucesso dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno para Inventário de 1947-2010.....	85
Tabela 7.4 - Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das diferentes combinações de factores efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para a sua diminuição. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.	88
Tabela 7.5 – Soma factor a factor de consoante a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de factores efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento, e a verde está assinalado a combinação dos factores que contribuem de forma positiva para o modelo.....	89
Tabela 7.6 - Adição factor a factor de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior, a amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados contribuíam para a sua diminuição, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.....	90
Tabela 7.7 - Valores das Curvas ROC para as diferentes unidades de terreno.	92
Tabela 7.8 – AAC e Taxas de sucesso dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno.	95

Tabela 7.9 -Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das diferentes combinações de factores efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para a sua diminuição. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.	98
Tabela 7.10 - Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para o seu aumento. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.	99
Tabela 7.11 - Adição factor a factor ´de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados contribuíam para o seu aumento, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.	100
Tabela 7.12 - Valores da curva ROC para as três unidades de terreno	102
Tabela 7.13 – Curvas ROC para as diferentes dimensões de unidades de terreno utilizadas...	103
Tabela 7.14 - AAC e o respectivo valor do modelo ideal dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno.....	105
Tabela 7.15 – Somatório factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela Média dos Valores Absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados não concorrem para o seu aumento. A verde está assinalada a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.	108
Tabela 7.16 - Soma factor a factor de consoante a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de factores efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuem para o seu aumento, e a verde está assinalado a combinação dos factores que influenciam de forma positiva para o modelo.....	109
Tabela 7.17 - Adição factor a factor de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de	

variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior, a amarelo observa-se as AAC das quais os factores não contribuem para o seu aumento, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo..... 110

Tabela 7.18 – AAC das curvas ROC para cada uma das unidades de terreno. 111

Tabela 7.19 – Média dos valores informativos absolutos dos 18 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno. 113

Tabela 7.20 - Adição factor a factor conforme a hierarquia da média dos valores informativos absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados não contribuíam para o seu aumento e a verde está assinalado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo. 116

Tabela 7.21 – Soma factor a factor consoante a hierarquia da média dos valores informativos absolutos e respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento e a verde está apontada a combinação dos factores que contribuem de forma positiva para o modelo. 117

Tabela 7.22 - Adição factor a factor hierarquizados consoante Média dos valores informativos absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento, e verde está indicado a combinação dos factores que influenciam positivamente o modelo. 118

Tabela 7.23 - Valores das AAC da curva ROC para as diferentes unidades de terreno..... 120

Tabela 7.24 – Curvas ROC para as diferentes dimensões de unidades de terreno utilizadas... 121

Tabela 8.1- AAC da curvas ROC para os dois métodos utilizados correspondentes ao inventário de 1947- 2010. A amarelo está assinalado a AAC ROC de sucesso superior. 123

Tabela 8.2 – AAC ROC para o inventário correspondente ao intervalo entre 1947 e 1980 para as diferentes unidades de terreno. A amarelo encontra-se a AAC ROC de valor mais elevado. 124

Tabela 8.3 - AAC ROC de predição obtidas para a três dimensões de terreno mediante os dois processos de hierarquização utilizados. A amarelo está assinalado o valor com a curva de predição superior 125

Tabela 11.1 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 10m.....	ii
Tabela 11.2 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 20m.....	v
Tabela 11.3 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 40m.....	viii
Tabela 11.4 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 10m.....	xi
Tabela 11.5 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 20m.....	xiv
Tabela 11.6 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 40m.....	xvii

Lista de Acrónimos

AAC	Área Abaixo da Curva
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
ARH Tejo	Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FAP	Força Aérea Portuguesa
FFN	Fracção de Falsos Negativos
FFP	Fracção dos Falsos Positivos
FVN	Fracção dos Verdadeiros Negativos
FVP	Fracção de Verdadeiros Positivos
GSI	Geological Strength Index
IAEG	International Association of Engineering Geology
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
INAG	Instituto da Água
INETI	Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
Ma	Milhões de anos
MDT	Modelo Digital de Terreno
MOI	Margem Ocidental Ibérica
RAF	Royal Air Force
ROC	Receiver Operating Characteristic
POOC	Plano de Ordenamento da Orla Costeira
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNIRH	Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos
TIN	Triangular Irregular Network
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
USAF	United States Air Force
WP/WLI	Working Party on the World Landslide Inventory

Resumo

Palavras-chave: arribas, movimentos de vertente, susceptibilidade, Torres Vedras, método do valor informativo.

A ocorrência de movimentos de vertente em arribas é um assunto de extrema importância, visto que a pressão da ocupação humana que se faz sentir, presentemente, nas zonas litorais é deveras elevada. A determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos torna-se, então, imperativa no sentido de prever possíveis zonas de risco geológico ou sectores críticos, tanto para as vidas humanas, como para bens materiais. A presente dissertação teve como objectivo a avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente nas arribas costeiras do sector litoral de Torres Vedras, utilizando o método estatístico bivariado do valor informativo. Este método foi utilizado para correlacionar um inventário de instabilidades ocorridas no período compreendido entre 1947 e 2010 (63 anos) obtido por fotointerpretação comparativa sistemática de fotografias aéreas de diferentes datas, com um conjunto de factores de predisposição de natureza geológica, geomorfológica e relativa à agitação marítima, que foram analisados em unidades de terreno com três dimensões diferentes. Compreendeu, do mesmo modo, a avaliação dos métodos empregados para a catalogação e definição dos factores mais importantes e o cálculo de curvas de predição, através de um segundo inventário de movimentos entre 1947 e 1980 (33 anos), concebido a partir da partição temporal do inventário de 1947-2010. Por fim, para avaliar a validade da cartografia de susceptibilidade produzida, validaram-se os dados obtidos, com recurso à Área Abaixo da Curva (AAC) da *Receiver Operating Characteristic* (ROC).

Abstract

Keywords: sea cliffs, mass movements, susceptibility, Torres Vedras, method of the information value.

Sea cliffs movements is a matter of highest importance mainly because of the high pressure that is felt presently in coastal areas. For determining the susceptibility to mass movements it's imperative in order to predict possible areas of geological risk, or critical sectors, both for human lives and for buildings and structures. The main object of this work is to evaluate the susceptibility of cliff failures in the coastal sector of Torres Vedras, using the bivariate statistical method of Information Value. This method was used to correlate an inventory of instabilities which occurred in the period between 1947 and 2010 (63 years), obtained by systematic comparative photo-interpretation of aerial photographs of different dates, with a set of pre-disposing factors related with geology, geomorphology and wave action, which were analyzed using terrain units with three different dimensions. Together, occurred in the same way the evaluation of the methods used for cataloging and defining the most important factors , and the calculation of prediction curves through a second inventory movements between 1947 and 1980 (33 years) , designed from the temporal partition of the inventory from 1947 to 2010. Finally, to assess the validity of the mapping of susceptibility produced, the data obtained were validated using the Area Under Curve (AUC) of ROC (Receiver Operating Characteristic).

1. Introdução

Os litorais são ambientes naturais, complexos e de elevada dinâmica que variam grandemente com a topografia, clima, vegetação, bem como com o tipo de ocupação do terreno. A linha de costa em Portugal tem um comprimento total de 835 km e caracteriza-se por uma elevada variabilidade geomorfológica, decorrente de factores geológicos e de processos marinhos actuantes. Destes 835 km cerca de 443 km fazem parte de sistemas litorais precedidos por arribas (Marques, 2009). Em Portugal cerca de 75% da população vive no litoral, percentagem essa que foi subindo de forma veemente nas últimas décadas, com o êxodo que se observou das zonas interiores do país. Este rápido crescimento é uma ameaça e tem consequências graves para o equilíbrio dos sistemas litorais. Consequentemente, verificou-se uma amplificação do impacto das actividades antrópicas nestes sistemas, maioritariamente através do turismo, da criação de áreas industriais ou mesmo de intervenções de defesa costeira, provocando o decréscimo no abastecimento sedimentar ao longo da costa. É nestas zonas onde a erosão na linha costeira é mais significativa e onde o risco material e humano é maior, principalmente devido a movimentos de massa nas arribas. A erosão nestes locais procede-se através de sequências descontínuas de movimentos, cuja ruptura normalmente acontece isoladamente em vários pontos, sendo rara a ruptura simultânea numa determinada secção da arriba (Marques e Andrade, 2009).

Uma arriba litoral, de acordo com Marques (1997), é um elemento geomorfológico de primeira importância, que se localiza na interface da litosfera, atmosfera e hidrosfera, sendo ainda actuado, com maior ou menor intensidade, pela biosfera. As arribas, conforme Emery e Kuhn (1982), são vertentes rochosas, normalmente muito íngremes, que estão regularmente expostas à acção do mar e que ocorrem ao longo de 80 % do litoral mundial. As arribas costeiras existentes hoje em dia são, na sua maioria, figuras geológicas que foram moldadas desde o Último Período Glaciar (Pleistocénico), também conhecido como Wurm. Os processos que dão origem à formação destes elementos morfológicos resultam de uma acção combinada de diferentes agentes erosivos, que não são exclusivamente marinhos, sendo os processos de erosão subaérea igualmente importantes.

Neste contexto, esta dissertação tem como finalidade uma avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades nas arribas costeiras do sector litoral de Torres Vedras, para o período compreendido entre 1947 e 2010 (63 anos), inserido no projecto “Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área da Jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I.P.” (ARH Tejo). Outros objectivos de importância secundária, elucidados na presente dissertação, estão relacionados com a análise do

comportamento dos modelos de susceptibilidade para diferentes unidades de terreno, com a avaliação dos métodos utilizados para a catalogação e definição dos factores mais importantes, e com o cálculo de curvas de predição através de um segundo inventário, elaborado entre 1947 e 1980 (33 anos), originado através da partição temporal do inventário de 1947-2010.

A metodologia aplicada foi baseada, essencialmente, numa sequência de etapas que incluem a elaboração de um inventário multi-temporal de instabilidades ocorridas no troço costeiro de Torres Vedras, através da consulta de fotografias oblíquas e estereoscopia de fotografias aéreas e da aquisição de dados relativos aos factores condicionantes, e o posterior tratamento dos dados em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Esta avaliação passou pela identificação dos factores actuates e pela sua correlação com os movimentos de vertente registados. A sua modelação foi elaborada através do método estatístico bivariado do valor informativo (*Information Value Method*), originando modelos preditivos referentes aos dois inventários, que posteriormente foram validados. A avaliação efectuada para a ocorrência de movimentos de vertente, relativa ao inventário 1947-2010, visou, subsequentemente, a definição de faixas de risco adequadas para uso balnear e para ocupação costeira, com o propósito de prevenir possíveis situações fatais como as que ocorreram na praia de Maria Luísa (Algarve) em 2009 (5 mortes) e na Praia de Almagreira (Peniche) em 2005 (2 mortes). Para o inventário de 1947-1980 a avaliação está relacionada com a capacidade preditiva que este possa ter, com recurso aos movimentos que ocorreram após 1980.

Em termos de estrutura a presente dissertação está dividida em onze capítulos:

- O primeiro capítulo é composto pela introdução, onde se faz um enquadramento do problema e se descrevem alguns conceitos gerais e os objectivos.
- O segundo capítulo abarca o enquadramento geral da área, que resultou do levantamento cartográfico e bibliográfico, com particular ênfase para o enquadramento geológico.
- No terceiro capítulo são abordados os vários tipos de movimentos de vertente e são apresentadas algumas noções generalizadas referentes à sua tipologia e dinâmica.
- No quarto capítulo referem-se alguns conceitos relacionados com a temática da evolução e instabilidade das arribas, assinalando, igualmente, as causas que influenciam globalmente as arribas costeiras.
- No quinto capítulo são apontados, de forma genérica, os conceitos associados ao risco, vulnerabilidade e perigosidade

- O sexto capítulo refere teoria em torno do método estatístico utilizado para a obtenção da susceptibilidade e são mencionados conceitos estatísticos que se relacionam com a curva ROC de validação.
- O sétimo capítulo indica as principais metodologias que foram empregues para obtenção de dados relativos aos movimentos (desde os métodos utilizados para criação do inventário, aquisição de dados alusivos aos factores condicionantes e criação das unidades de terreno, essenciais para a avaliação final).
- O oitavo capítulo contém toda a análise estatística efectuada com a reunião de todos os dados obtidos, que possibilitou o desenvolvimento de vários modelos de susceptibilidade, à escala regional, para os dois inventários realizados.
- O nono capítulo apresenta a discussão geral dos sobre dados obtidos durante todo procedimento de cálculo e os resultados finais das curvas ROC
- No décimo capítulo faz-se uma síntese do trabalho e referem-se as conclusões obtidas, mediante a análise dos modelos finais produzidos.
- No décimo primeiro capítulo está exposta toda a bibliografia utilizada para a elaboração da presente dissertação.

2. Enquadramento e Caracterização Geral

2.1 Geografia

O sector litoral de Torres Vedras (16 km) estende-se desde o litoral a Sul da Praia do Valmitão (a 1 km a Oeste do vértice geodésico (v.g.) Outeiro do Seixo) até à Praia de Porto Barril, a Sul. Fica a cerca de 12 km da cidade de Torres Vedras e 55 km a Sudoeste da cidade de Lisboa, fazendo parte deste distrito. O litoral está dividido por quatro freguesias que são, respectivamente, de Norte para Sul: Maceira, A-dos Cunhados, Silveira e São Pedro da Caldeira. A linha de costa apresenta, geralmente, uma direcção para NNE, tirando um troço a Sul, entre a Praia de Assenta e Praia de Cambelas, cuja orientação é, aproximadamente, NNW (Figura 2.1). É uma região que apresenta uma plataforma litoral, mais ou menos acidentada, que faz parte da fachada Atlântica Oeste. Esta região é abrangida pelo Plano de Ordenamento da Orla Costeira (POOC) Alcobaça-Mafra, e inclui, de Norte para Sul, 9 planos de praia: Porto Novo, Santa Rita, Mexilhoeira, Navio, Mirante-Pisão-Física (Santa Cruz), Varandinha, Azul, Foz do Sizandro e Assenta Norte.

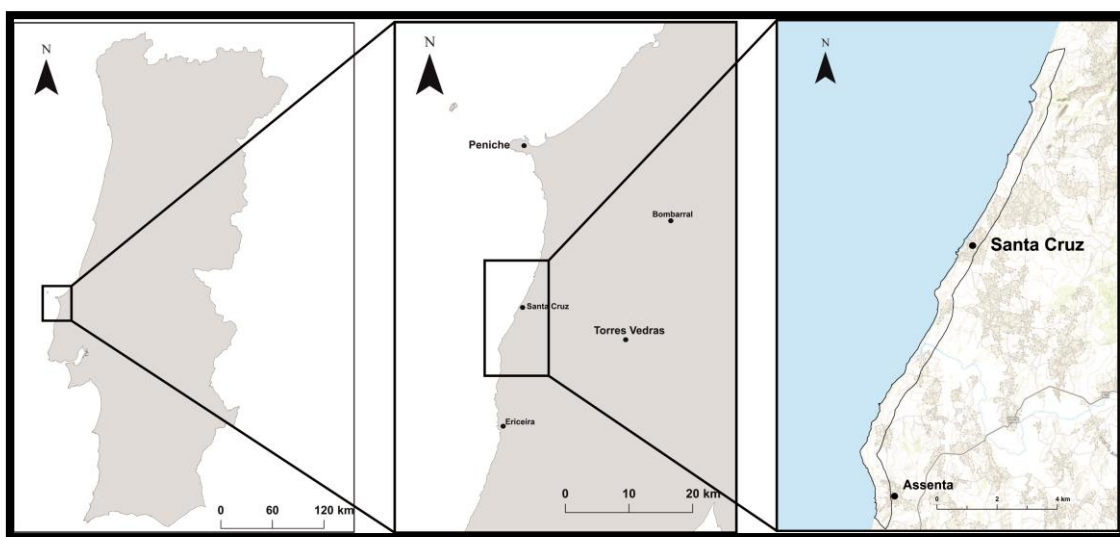


Figura 2.1 - Enquadramento geográfico do sector litoral em estudo (delimitado a preto).

2.2 Geomorfologia

No geral, o litoral de Torres Vedras encontra-se na Orla Mesocenozóica, que constitui uma plataforma sedimentar, morfologicamente diferenciada pela presença de diversos relevos. A altura nas arribas varia entre os 12 m e os 83 m em toda a extensão da área estudada. Apresenta vertentes íngremes, maioritariamente na metade a Sul do rio Sizandro e a Sul da Praia do Valmitão, e vertentes de altura mais baixa, entre Santa Cruz e a Praia de Porto Novo. Cerca de

90% do sector litoral é composto por sistemas com arribas, enquanto os 10% restantes correspondem a sistemas com praia. A linha de costa apresenta uma direcção predominante para NNE, exceptuando o troço a Sul, desde a Praia de Porto Barril até à Praia de Cambelas, que apresenta orientação para NNW. Possivelmente, esta mudança na orientação geral pode estar relacionada com a modificação na litologia ou com condicionamentos tectónicos, devidos à presença de falhas de orientação N-S na zona de Cambelas. Este troço costeiro apresenta arribas praticamente contínuas, apenas interrompidas por três vales, correspondentes às fozes dos rios Sizandro, Alcabrichel e Ribeira da Sorraia. Os dois primeiros possuem fozes cujo leito é desviado devido à presença de sistemas dunares assentes numa plataforma em rampa. A foz do rio Sizandro é caracterizada por um sistema de praia-planície aluvial com dunas, que se encontram bastante degradadas, apresentando uma vegetação muito esparsa e irregular (Figura 2.2 A) (Neves, 2004). Igualmente, o sistema dunar situado mais a Norte, junto à Praia de Santa Rita, também foi sujeito a uma degradação significativa. O rio Alcabrichel, um pouco a Norte da praia anterior, desagua na Praia do Porto Novo e resulta da mudança de canal de escoamento nos últimos séculos, deixando assim de estar influenciado pelo sistema dunar da Praia de Santa Rita (Trindade, 2001 *in* Neves, 2004). As arribas apresentam um contorno razoavelmente rectilíneo, entre a Praia de Santa Cruz e Praia do Seixo, e curvo e irregular no restante litoral. Este litoral contém apenas dois penedos, um localizado na Praia do Guincho (Penedo do Guincho) e outro no limite Sul da Praia do Porto Novo (Figura 2.2 C). Ambos resultam de erosão dos istmos e, provavelmente, devem ter sido gerados por erosão preferencial de zonas de fraqueza estrutural. As praias são alongadas e precedidas por arribas entre a Praia da Azul e a Sul da Praia do Valmitão (Figura 2.2 D), enquanto na restante área as arribas apresentam estudada apresentam, junto ao sopé, blocos ou plataformas, em cujas reentrâncias são preservadas pequenas praias. Estas praias encastradas (Figura 2.2 B) resultam da acumulação de sedimentos devido à diminuição da energia da ondulação, quando esta entra em contacto com as pontas mais salientes, constituídas por unidades mais resistentes.



Figura 2.2 – Fotos com alguns aspectos geomorfológicos existentes no sector estudado.

2.3 Caracterização Tectónica Regional

O troço litoral de Torres Vedras, insere-se na Orla Mesoceno-zóica Ocidental, na Bacia Lusitaniana, que se desenvolveu na Margem Ocidental Ibérica (MOI) durante o Mesozóico e está intimamente relacionada com a abertura do Atlântico Norte. Rocha e Soares (1984) dividiram a bacia em 3 sectores bem demarcados e distintos do ponto de vista geométrico e cinemático (Figura 2.3):

- Sector Norte: limitado a Norte pela transição *en echelon* para a Bacia do Porto e a Sul pela falha da Nazaré, apresentando grande espessura de sedimentos do Jurássico Inferior-Médio.
- Sector Central: que se situa entre a falha da Nazaré a Norte e o conjunto de falhas Porto-Tomar, Montejunto-Arrife-Vale Inferior do Tejo e Setúbal-Pinhal Novo a Sul. É neste sector que se encontra a melhor exposição da Bacia Lusitaniana.
- Sector Sul: limitado a Norte pelo conjunto de falhas anteriores e a Sul pela falha da Arrábida. Possui sedimentos importantes do Jurássico Superior-Cretácico Inferior.

Tendo em atenção esta divisão em sectores, o troço costeiro estudado localiza-se precisamente no Sector Central da Bacia Lusitaniana.

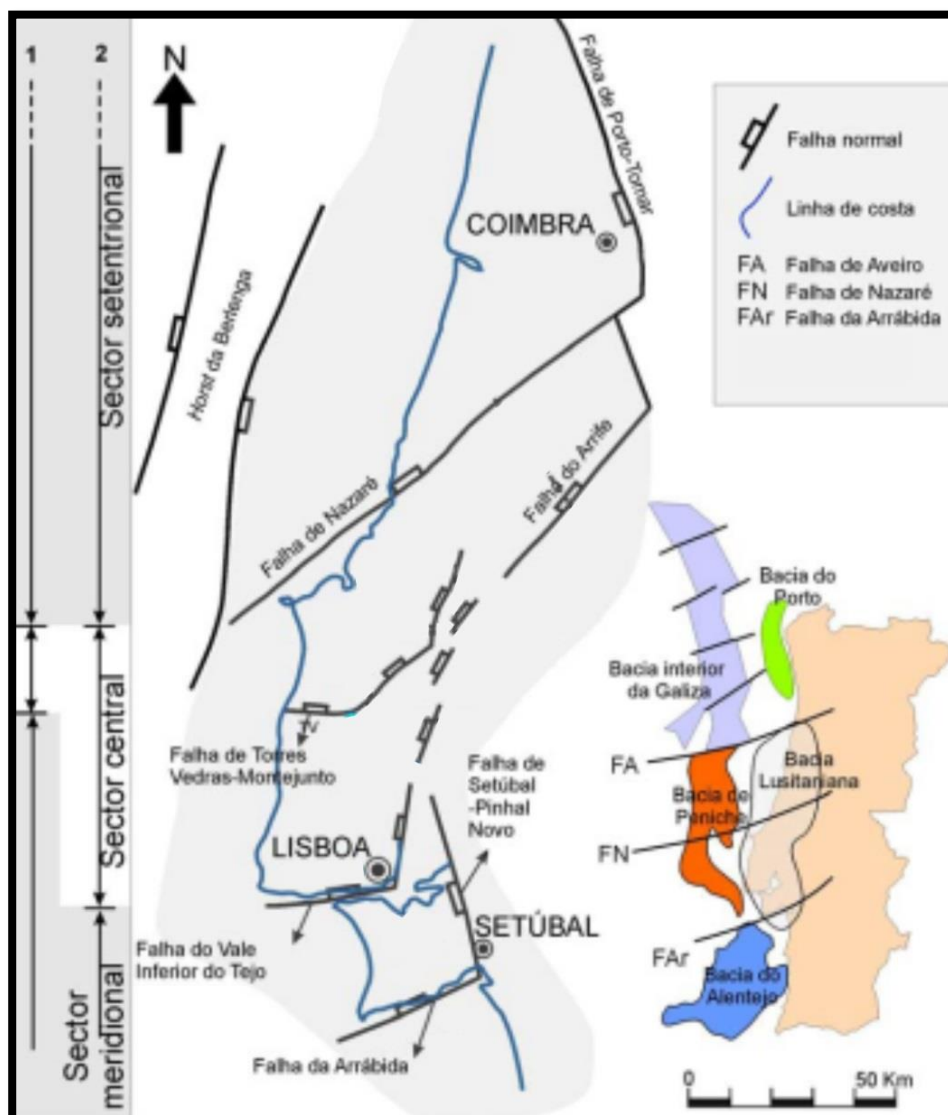


Figura 2.3 – Enquadramento geográfico e tectónico da Bacia Lusitaniana (adaptado de Kullberg *et al.*, 2006)

Segundo Ribeiro *et al.* (1979) in Kullberg *et al.* (2006) a evolução tectónica da Bacia Lusitaniana foi condicionada por falhas que já existiam, formadas durante o período de fracturação tardi-varisca (300-280 milhões de anos (Ma)). As falhas resultantes foram reactivadas como desligamentos esquerdos de direcção aproximada NNE-SSW e NE-SW (Ribeiro, 2002 in Kullberg *et al.*, 2006) devido à compressão Alpina (bem expressa na zona Norte da área estudada). Outras falhas importantes para a estruturação da Bacia Lusitaniana, com direcção N-S e NW-SE, foram originadas igualmente pelo mesmo episódio. É neste sector central, conforme Montenat *et al.* (1988), que as falhas activas durante o 3º episódio de *rifting* do Oxfordiano-Kimmeridgiano delimitaram três sub-bacias: sub-bacia do Bombarral a Norte, a sub-bacia da Turcifal a Sudoeste e a sub-bacia de Arruda a Sudeste (**Erro! A origem da eferência não foi encontrada.**).

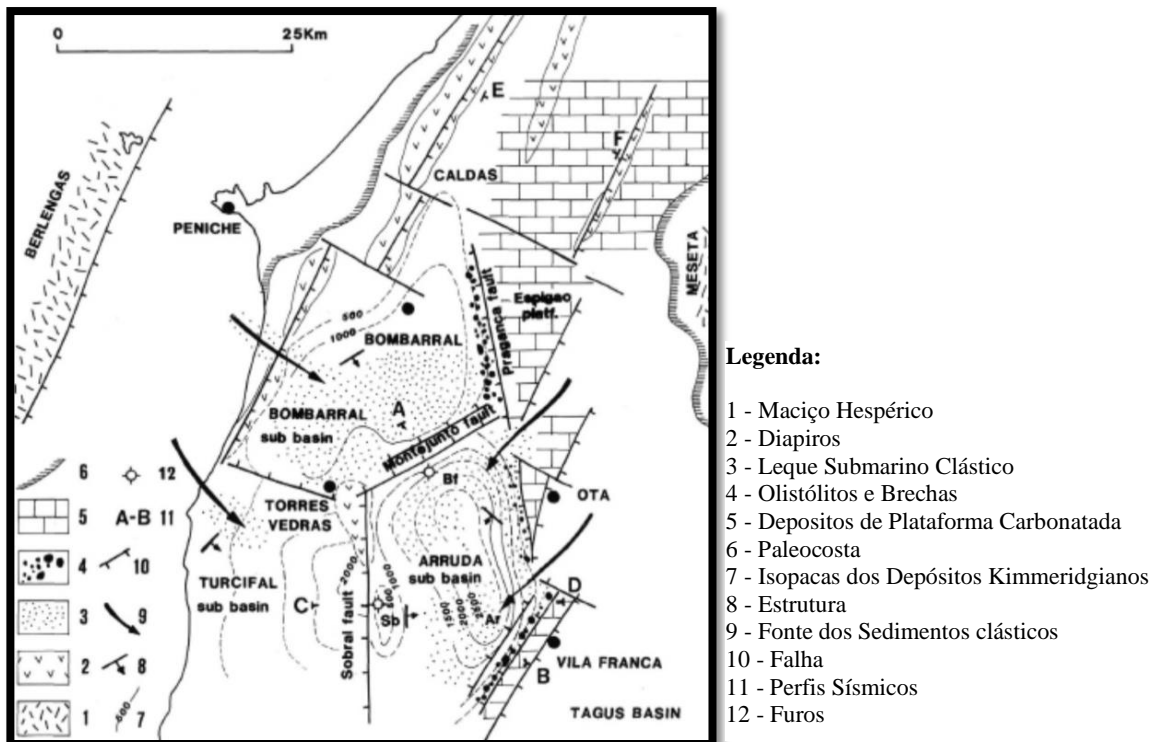


Figura 2.4 - Delimitação das sub-bacias do Sector Central da Bacia Lusitaniana (adaptado de Montenat *et al.*, 2006)

A sub-bacia do Bombarral contacta com as suas congéneres a sul através de um conjunto complexo de falhas, conhecido na literatura como Falha de Torres Vedras-Montejunto, de orientação geral E-NE entre Montejunto e Torres Vedras, e orientação W-NW para Oeste de Torres Vedras (Montenat *et al.*, 1988). Tem como limite Oeste a Falha da Lourinhã/Caldas da Rainha. Este conjunto intrincado de falhas está cortado em vários pontos por falhas mais modernas de direcção NW-SE, prolongando-se até à zona de Santa Cruz. Por outro lado, as sub-bacias do Turcifal e Arruda contactam entre si, através da Falha do Sobral, de orientação geral N-S. Uma das falhas de relativa importância é a Falha das Caldas da Rainha (ou Falha da Lourinhã), que está igualmente expressa no troço estudado. Segundo Manuppella *et al.* (1999) a Falha da Lourinhã enraíza no soco, apresentando uma geometria lítrica. Esta falha está intimamente associada à dinâmica salífera, ocorrendo em toda a sua extensão, de Sul para Norte, os diapiros de Santa Cruz, Vimeiro, Bolhos e Caldas da Rainha (Figura 2.5).

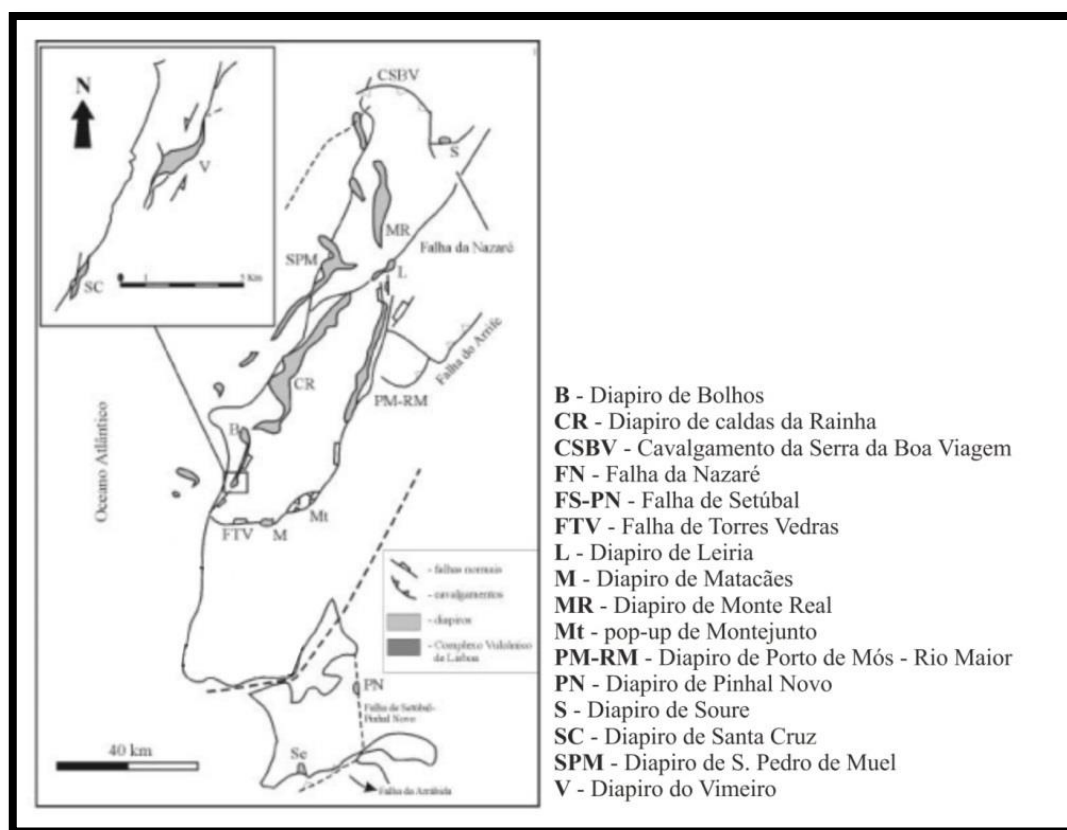


Figura 2.5 - Localização dos diapiros na Bacia Lusitânica (adaptado de Kullberg *et al.*, 2006).

O Planalto Cretácico mais a Sul, unidade estrutural definida por Zbyszewski *et al.* (1955), apresenta numerosos filões de rochas eruptivas que preenchem fracturas, radiados a partir a área de Gabros de Mafra. Este planalto, conforme o mesmo autor, encontra-se também cortado por fracturas paralelas ao litoral com direcção N-S, como acontece junto à povoação de Cambelas, que se insere na região Sul do troço estudado.

A nível local foram encontradas numerosas falhas e uma dobra antiforma no extremo Norte do sector. Estas estruturas foram cartografadas na sua grande maioria através de trabalho de campo. Conseguiu-se, de modo razoável, assinalar algumas falhas cartografadas nas Folhas 30-A e 30-C. Foram, também, encontradas falhas com pequenos rejeitos verticais, que não se encontravam cartografadas devido à sua reduzida escala (Figura 2.6 e Figura 2.7).



Figura 2.6 – Exemplos de falhas detectadas na área estudada.

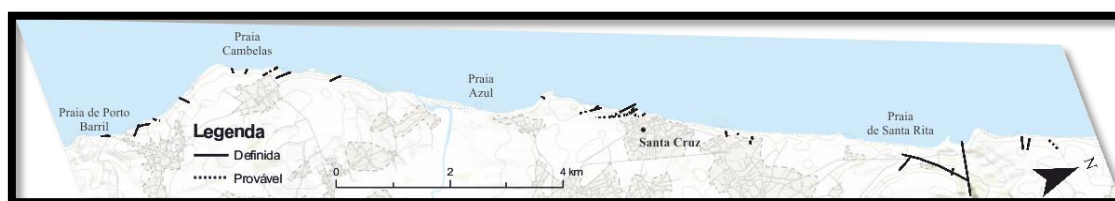


Figura 2.7 – Totalidade das falhas presentes no sector litoral de Torres Vedras.

2.4 Caracterização Geológica Regional

A deposição sedimentar na Bacia Lusitaniana ocorreu entre o Triássico Médio (?)-Superior (Ladiniano?-Carniano) e o Cretácico Inferior (Aptiano Superior), transitando para um comportamento de margem passiva, a partir deste último período. Durante o 1º episódio de *rifting* (Triássico Superior-Sinemuriano) a deposição deu-se em termos predominantemente siliciclásticos e evaporíticos, como está evidenciado na área em estudo pela Formação da Dagorda. O 2º episódio de *rifting* (Pliensbaquiano-Oxfordiano) é marcado pela deposição de sedimentos maioritariamente carbonatados, pertencentes ao Grupo de Quiaios, Formação da Póvoa da Lomba, Grupo de Cabo Mondego/Grupo de Sicó, Formação de Cabaços, Formação de Montejunto e Formação de S. Pedro. O 3º episódio de *rifting* (Kimmeridgiano-Berriasiano Inferior) é marcado por importantes variações laterais de fácies e de espessuras (Kullberg *et al.*, 2006), o que deu origem a um grande número de formações distintas que estão disseminadas pelos três sectores da bacia. Foi neste episódio que ocorreu a deposição das Formações da Abadia, de Sobral, de Freixial, da Lourinhã e Bombarral, aflorantes neste troço costeiro.

O 4º episódio de *rifting* (Berriasiano Superior-Aptiano Superior) gerou depósitos que afloram desde Aveiro até à região do Sado. Conforme Kullberg *et al.* (2006), estas unidades cretácicas são constituídas por nove formações, predominantemente calcárias na região de Cascais e Sintra (600 m espessura), doze formações compostas por alternâncias de calcários, conglomerados, arenitos e argilas na região da Arrábida (350 m de espessura), dez formações na região da Ericeira com a mesma natureza das formações da região da Arrábida e, finalmente, oito formações de sedimentos exclusivamente terrígenos a Norte da Ericeira e a Este de Loures e de Sesimbra (160 m de espessura).

Na maior parte deste troço litoral afloram formações pertencentes ao Jurássico Superior, mas também existem formações referentes ao Jurássico Inferior e Cretácico Inferior. Mais especificamente, o litoral de Torres Vedras engloba terrenos pertencentes à sub-bacia do Turcifal e terrenos a Oeste da Falha das Caldas da Rainha, onde estão presentes séries de fácies marinhas regressivas e de fácies continentais (Manuppella *et al.*, 1999). Este troço está dividido pelas Cartas Geológicas 1:50000, 30-C de Torres Vedras a Sul e 30-A Lourinhã a Norte. Em suma, estão presentes as seguintes unidades apresentadas na Figura 2.8 e

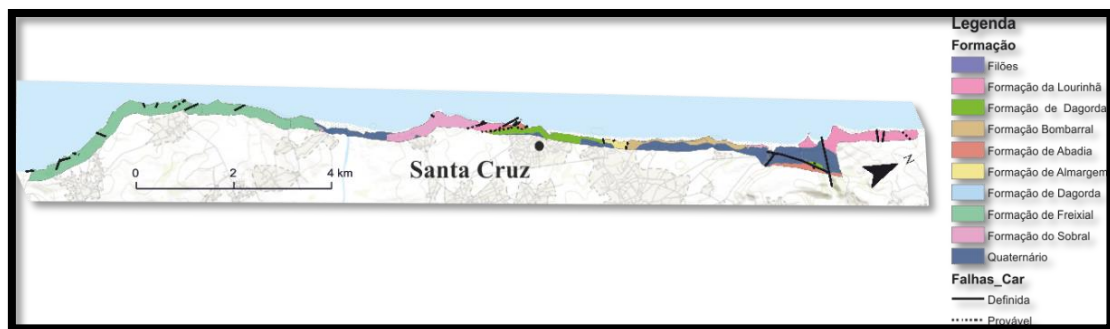


Figura 2.9.

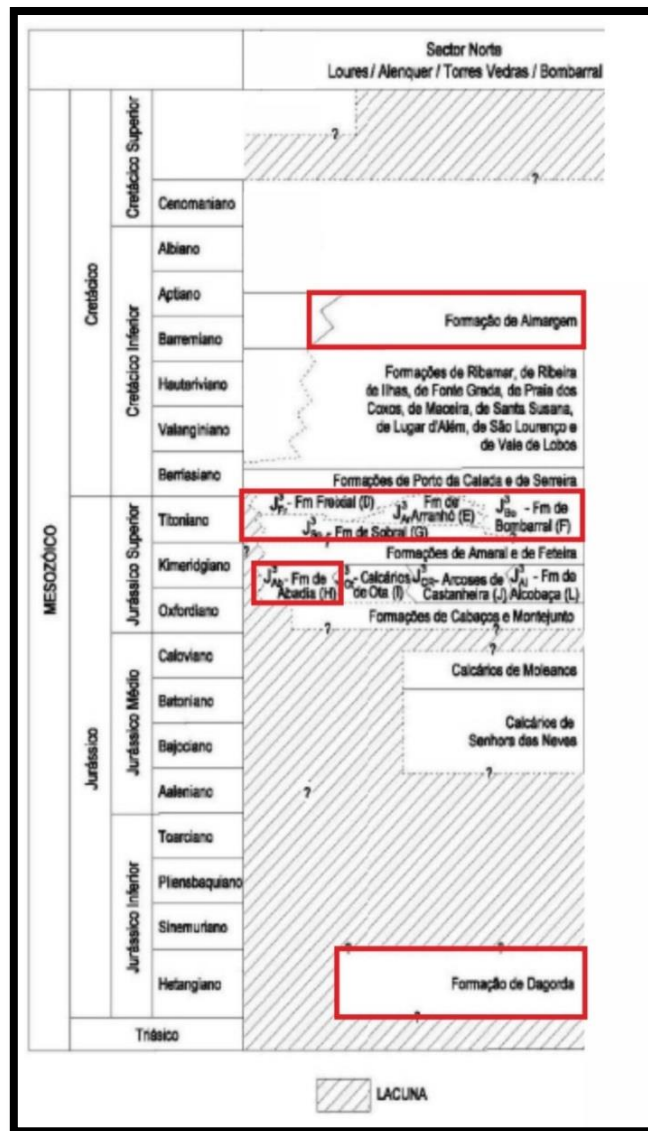


Figura 2.8 - Principais Formações que afloram na área de estudo (adaptado de Kullberg e Soares, 2005).

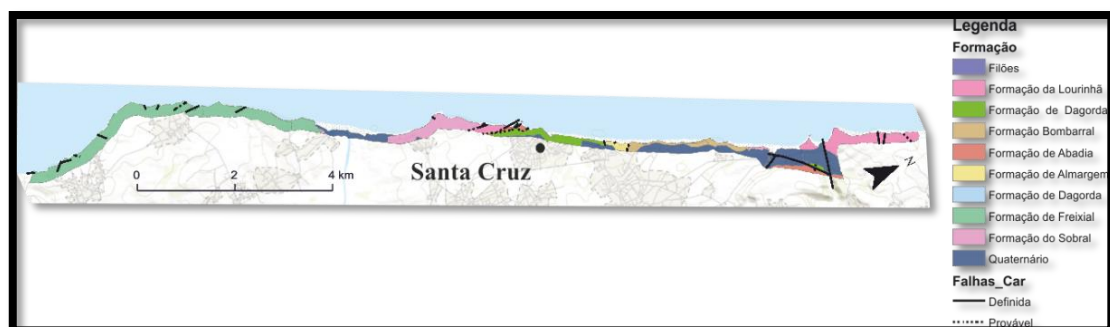


Figura 2.9 - Cartografia geológica do sector litoral de Torres Vedras.

J¹_{Da} – Formação da Dagorda (complexo pelítico carbonatado-evaporítico do Hetangiano - Sinemuriano Inferior).

Esta formação é constituída por um complexo pelítico-carbonatado-evaporítico, essencialmente formado por argilas gipsíferas e salíferas, muito brechificadas, de cores violeta e esverdeada, que constituem o *cap rock* das extrusões salíferas de Santa Cruz, Vimeiro, Bolhos e Caldas da Rainha (Manuppella *et al.*, 1999) (Figura 2.10). Pelas suas características geológicas (baixa densidade e ductilidade) esta formação é a responsável pelo diapirismo na Bacia Lusitaniana (Kullberg, 2000). Aflora, particularmente, em estruturas tectónicas e, como já foi referido anteriormente, em toda a extensão da Falha das Caldas da Rainha. Esta formação origina vales tifónicos, que consistem em depressões provocadas por erosão diferencial ou por colapso. Conforme Watkinson (1989) *in* Kullberg *et al.* (2006) a Formação de Dagorda apresenta-se com três membros: um membro dolomítico, com pelitos vermelhos e/ou acinzentados e evaporitos com espessura de 250-320 m, um membro salífero/dolomítico, predominantemente dolomítico e/ou calco-margoso rico em evaporitos com espessura 60-850 m e, por fim, um membro salífero, caracterizado pelo domínio acentuado de halite, com margas dolomíticas e/ou pelitos margosos e anidrite, com uma espessura entre 290-800 m. No entanto, segundo Kullberg (2000), a sua espessura é muito variável, sendo, na maioria dos casos, muito distintas das originais.



Figura 2.10 - Formação da Dagorda junto à Praia de Santa Cruz (Foto de Madalena Leitão).

Formação da Abadia (Membro do Guincho) (=J³_{SC} - Calcários e Margas de Santa Cruz de Manuppella *et al.* (1999)+ J³_{AL} - Arenitos e Conglomerados de Manuppella *et al.* (1999)) (Kimmeridgiano-Kimmeridgiano Inferior)

A Formação da Abadia, segundo Reis *et al.* (2008), está representada apenas pela sua parte superior (Membro do Guincho), em virtude do estiramento associado à subida dos materiais diapíricos da Formação da Dagorda. Segundo Manuppella *et al.* (1999), este afloramento está limitado a Este e Nordeste por uma falha que o põe em contacto com a referida formação. É constituída por margas siltosas e arenitos finos e por um nível local, em contacto erosivo, caracterizado por um enchimento espesso de fácies conglomeráticas e arenosas de canhão (Figura 2.11). Estes conglomerados apresentam clastos de granito, xisto e calcário (Wilson, 1989 *in* Manuppella *et al.*, 1999). Este nível arenoso-conglomerático, de 40 m de espessura, não está cartografado na carta geológica 30-A, por não ter expressão na escala usada. A cor dominante é cinzento-escuro a preta (abundância de matéria orgânica), passando a azulada para o topo. As camadas exibem inclinações superiores a 45° para Sudoeste.



Figura 2.11 –Afloramento da Formação da Abadia junto a praia de Santa Cruz. Do lado direito pode-se observar o enchimento local de fácies conglomeráticas.

J³_{AP} – Formação Lourinhã - Grés, Margas e Arenitos da Praia da Amoreira-Porto Novo (Kimmeridgiano Superior-Titoniano?)

Esta unidade é constituída por dois termos pertencentes à Formação da Lourinhã: membro da Praia da Amoreira (base) e membro do Porto Novo (topo) (Figura 2.12). O primeiro, segundo Hill (1989) *in* Manuppella *et al.* (1999), é composto por sedimentos continentais constituídos por arenitos grosseiros caulíníficos e argilitos intercalados com solos calcários, formando, por vezes, uma apertada alternância com dominância de argilitos.

Por cima, e sobre uma superfície erosiva, sucede o termo Porto Novo, constituído essencialmente por depósitos fluviais. São formados por conglomerados de nódulos argilosos e carbonatos pedogenéticos com intercalações de depósitos areníticos espessos (Manuppella *et al.*, 1999). Este troço aflora na Praia da Amoreira (a Sul de Santa Cruz) e na área compreendida entre a Praia de Santa Rita e o limite Norte de Torres Vedras junto à Praia a Sul do Valmitão (continuando depois a aflorar para Norte). No local correspondente à Praia da Amoreira, esta unidade apresenta direcção N10°E (idêntica à falha que a afecta a Sul) e uma inclinação sub-vertical. Na região a Sul da Praia do Valmitão as arribas apresentam uma dobra anticlinal que confere à estrutura mudanças de direcção e inclinação. O flanco Norte inclina 20-30° para Noroeste, diminuindo esta inclinação progressivamente para Sul, até atingir uma estrutura sub-horizontal, levemente inclinada para Oeste (0-10°), coincidente com a charneira da dobra. O flanco Sul sucede à charneira anterior, com inclinações entre 20-a 30° para Sudoeste até à foz do Alcabrichel. Esta unidade é limitada inferiormente pela Unidade da Consolação (de tipo erosivo) e, superiormente, pela Formação do Sobral.



Figura 2.12 - Arribas pertencentes a Unidade da Praia da Amoreira - Porto Novo que aforam em dois locais distintos. A - Afloramento junto à Praia da Amoreira; B - Afloramento junto á Praia de Porto Novo próximo à foz do Alcabrichel.

J3So – Formação do Sobral, Margas, Argilas e Grés de Sobral (= J4- Kimmeridgiano de Zbyszewski et al., 1955) (Kimmeridgiano Superior-Titoniano?)

Esta formação, como também a Formação do Freixial (referida adiante), estão incluídas na sub-bacia do Turcifal. Trata-se de uma sequência regressiva com mais de 130 m de espessura, que aflora a Oeste da Falha de Caldas da Rainha (Manuppella *et al.*, 1999). Reis *et al.* (2008) define-a como membro da Praia Azul e de Santa Rita, pertencente à Formação da Lourinhã. Manuppella *et al.* (1999) refere que, desde a Praia da Amoreira e em direcção à foz do rio Sizandro, a série consiste numa sequência siliclástica de margas arenosas, argilas siltosas e arenitos mais ou menos grosseiros. Esta série de 130 m de espessura é composta da base para o topo por: 15 m de arenitos grosseiros com estratificação entrecruzada, 14 m de margas (siltosas e arenosas), seguindo-se de 45 m de alternância de margas arenosas e argilas siltosas com intercalações de arenitos margo-argilosos, terminando com 50 m de arenitos e siltitos margosos e argilosos (Figura 2.13). Aflora também nas arribas a Sul da foz da Ribeira do Sorraia, numa extensão de cerca de 430 m, contactando para Sul, em discordância com a Formação do Bombarral. Aqui apresenta uma direcção aproximadamente E-W com uma inclinação de 36° para Sul.



Figura 2.13 - Aspecto da Formação do Sobral junto à Praia Azul (A) e Praia da Amoreira (B).

Esta Formação é, a Oeste da falha de Caldas da Rainha, limitada inferiormente pelos Grés, Margas e Arenitos da Praia da Amoreira - Porto Novo e, superiormente, pelos Grés, Margas, Argilas e Conglomerados de Bombarral (Formação do Bombarral). Esta unidade aflora, igualmente, entre Miragaia e Feiteira (a Este da Falha de Caldas da Rainha), onde é constituída por três termos: Margas e Grés de Castelhanos (J^3_{Ca}), Argilas, Arenitos e Arcoses de Nadrupe (J^3_{Na}) e Grés margosos e Margas de Miragaia (J^3_{Mi}).

J³_{Fr} – Formação Freixial (= J⁵- Portlandiano de Zbyszewski *et al.*, 1955) (Titoniano Médio-Superior)

Conforme Zbyszewski *et al.* (1955), esta formação é constituída por grés acinzentados, amarelados e avermelhados, argilas micáceas, por vezes arenosas, e por margas e alguns calcários margosos (Figura 2.14). Na parte superior existem alguns leitos de conglomerados. Esta formação, a Norte, junto à Praia da Foz do Sizandro, encontra-se em continuidade estratigráfica com a Formação do Sobral. A Norte de Porto Barril as arribas são compostas maioritariamente por arenitos de grão fino e margas e pelitos de pequena espessura. Desde a Praia de Cambelas até às arribas junto à Povoação de Gentias afloram, maioritariamente, pelitos. No geral esta formação inclina suavemente para Sul (0-10°), embora exiba inclinações locais superiores e atinge uma espessura máxima é de 200m. Esta unidade é de longe a mais representativa na área de estudo, aflorando, ao longo de cerca de 6km, desde as arribas a Sul da Praia Azul (junto à foz do Rio Sizandro) até à Praia de Porto Barril, seguindo o seu curso para Sul pelo concelho de Mafra.

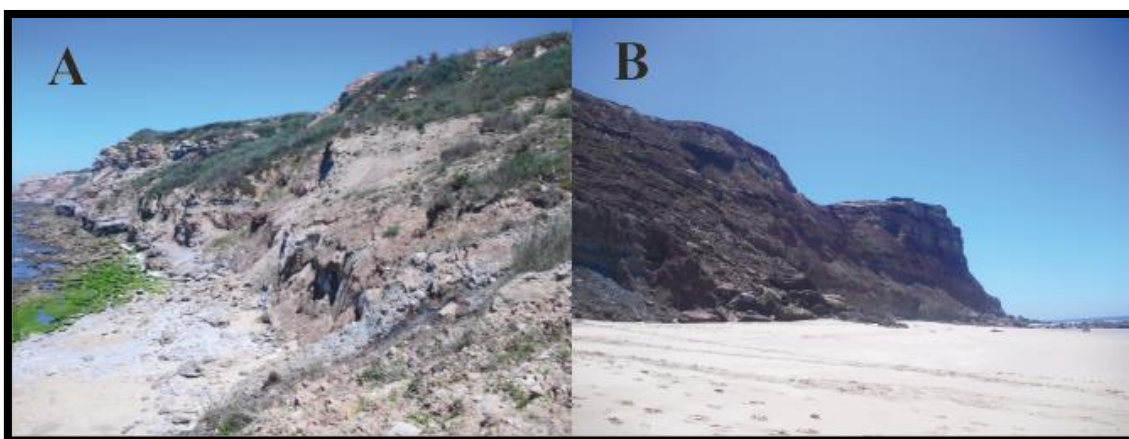


Figura 2.14 Aspecto da Formação do Freixial nas arribas da Praia das Peças (A) e Praia de Cambelas (B).

J³_{Bo} – Grés, Margas, Argilas e Conglomerados de Bombarral (Formação do Bombarral de Leinfelder, 1986; Formação da Lourinhã Leinfelder e Wilson, 1989)

Segundo Kullberg e Machado (2005), esta formação é a equivalente lateral da Formação do Sobral e Freixial. Aflora na área estudada a Oeste da Falha de Caldas da Rainha, aproximadamente entre Casal do Seixo, junto à Praia de Santa Rita, e Praia da Vigia. A Norte apresenta um contacto erosivo com a Formação do Sobral e a Sul, contacta por falha com a Formação de Dagorda. Segundo Manuppella *et al.* (1999), as camadas variam entre espessuras decimétricas a centimétricas, predominantemente de cor vermelha, constituído por sequências siliciclásticas continentais siltosas, areníticas e conglomeráticas, com arenitos argilosos e argilas com composição ílítico-montmorilonítica (Figura 2.15). No geral, apresenta uma direcção

aproximada E-W e uma inclinação horizontal a sub-horizontal. A espessura desta unidade varia entre as dezenas de metros e centenas de metros, adquirindo valores superiores a Sudeste da Lourinhã e valores mais baixos a Noroeste da Falha de Caldas da Rainha. Sobreposição à Formação do Sobral (J^3_{so}) e é limitada superiormente pelos arenitos argilosos e conglomerados do Cretácico.



Figura 2.15 – Aspecto das arribas areníticas onde aflora a Formação do Bombarral. Como se pode observar a sua face encontra-se com alguma vegetação devido à presença constante de exsurgências.

Cretácico

Segundo Rey (1993) *in* Manuppella *et al.* (1999), as formações cretácicas da carta Geológica 30-A da Lourinhã pertencem ao Grupo de Torres Vedras, que é composto por uma série terrígena fluvial do Cretácico Inferior, aflorante na zona Este da Serra da Arrábida, a Norte de Sobral da Abelheira, na Bacia de Runa e na região Norte de Torres Vedras. Esta série cretácica sobrepõe em discordância sobre a Formação do Bombarral (J^3_{Bo}).

C¹⁻²_{AI} – Siltes, Argilas e Grés finos a grosseiros de Almargem (Barremiano Superior-Aptiano)

Segundo Manuppella *et al.* (1999), esta formação apresenta depósitos exclusivamente argilo-gresosos e contacta por falha a Norte e Sul com a Formação de Dagorda. Possui uma inclinação de 30° para SE com uma direcção aproximada NE-SW. Na região de Torres Vedras afloram dois membros separados por uma crosta ferruginosa, pertencentes à Formação de Almargem (Inferior). O membro inferior, de 10 m de espessura, é constituído por grés grosseiro e conglomerados de cor branca e cinza clara, sendo o membro superior, de 35 m de espessura, constituído por argilas vermelhas azuis e violáceas intercaladas por grés fino a grosseiro e conglomerados esbranquiçados e amarelados (Figura 2.16) (Manuppella *et al.*, 1999). Esta unidade sobrepõe-se à Formação de Fonte Grada e o seu limite superior é desconhecido.



Figura 2.16 - Arribas cretácicas pertencentes à Formação de Almargem junto a praia do Navio.

Quaternário

d – Dunas (Holocénico)

Conforme Manuppella *et al.* (1999), os sistemas dunares presentes mostram que a componente de transporte eólico surge predominante de NW. Igualmente, este autor indica que estes sistemas são transgressivos e atingem para o interior cotas de 70 m (como acontece em Santa Cruz). Os sistemas dunares presentes neste sector litoral são de dois tipos: rampas eólicas (dunas na zona da Praia de Santa Rita e na Foz do Sizandro) e dunas de cobertura (nas arribas entre a Praia de Santa Rita e Praia da Vigia).

a – Aluviões (Holocénico)

São compostos por lodos siltsosos, às vezes com conchas de molúsculos (Manuppella *et al.*, 1999). Existem ao longo das principais linhas de água, como na Foz do Rio Sizandro, a jusante de Torres Vedras, na Ribeira de Alcabrichel, junto à Praia de Porto Novo e também na desembocadura da Ribeira de Sorraia, junto à Praia de Santa Rita.

Rochas Eruptivas

Neste sector litoral afloram dois filões condicionados pela fracturação existente. Segundo a legenda da Carta Geológica 30-C, o filão que aflora na Praia do Porto de Assenta é de natureza dolerítica e tem uma direcção N66°W. O filão que aflora na Praia de Cambelas, por outro lado, apresenta natureza traquítica e possui direcção aproximada E-W. Ambos os filões possuem uma disposição sub-vertical (Figura 2.17).

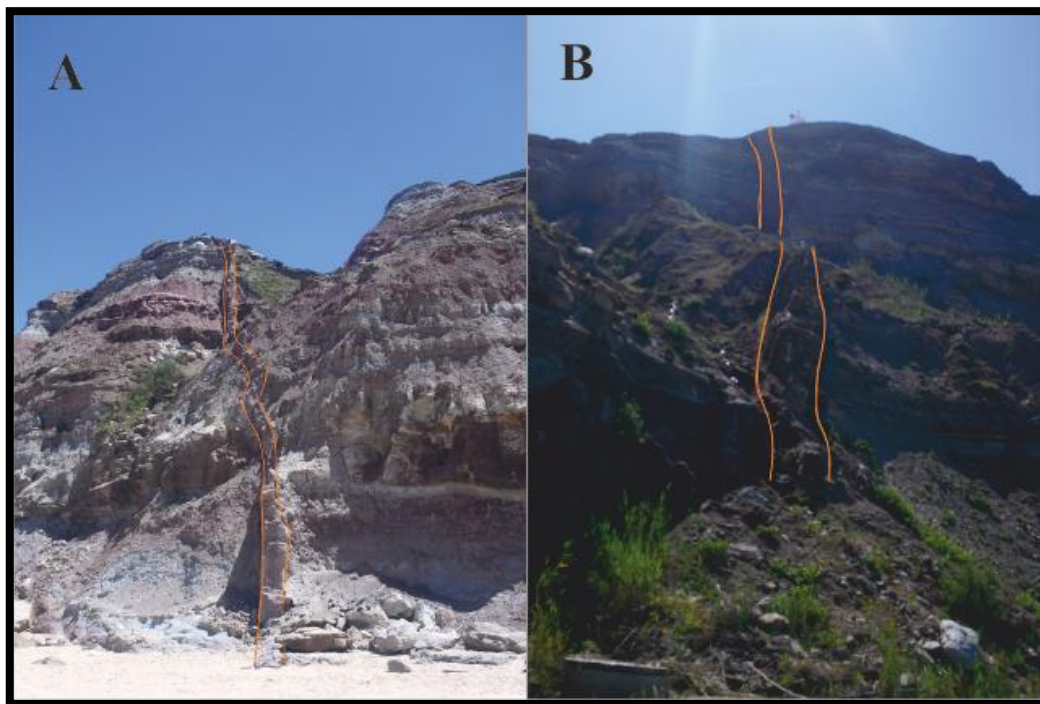


Figura 2.17 - Filões aflorantes no sector estudado. A - Filão traquítico na Praia de Cambelas; B - Filão dolerítico junto ao à praia do Porto da Assenta.

2.5 Climatologia

Os parâmetros climáticos que podem condicionar mais directamente os processos de evolução de arribas na costa Oeste portuguesa são: o vento, o nevoeiro, a temperatura, e a precipitação (Neves, 2004).

Segundo a estação climatológica do cabo Carvoeiro o vento proveniente de Norte é o mais dominante, embora varie conforme as estações do ano, para NW (Primavera) e NE (Outono) (Neves, 2004). Já o nevoeiro é mais regular entre Junho e Setembro, com uma frequência anual de 29 dias, segundo a mesma estação climatológica.

A precipitação e temperatura variam um pouco, conforme a proveniência e o período de recolha de dados. As cartas online de 1:1000000 do Atlas do Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente (APA) (<http://iambiente.pt>) indicam que, para este sector litoral, a temperatura anual encontra-se entre os 12,5° e os 15°C e a precipitação anual varia entre os 500 e os 600 mm (ambas para o período de 1931-1960). No entanto, analisando os dados do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) entre 1980-2010, a média anual acumulada da precipitação fica-se pelos 832,8 mm, variando entre 400 e 1400 mm, o que é um valor deveras superior em relação ao primeiro período (Gráfico 2.1). O mesmo acontece com a temperatura pois, de acordo com Reis e Gonçalves (1981), a temperatura média anual varia de 15 a 16°C, na faixa litoral entre Nazaré e Norte da Serra de Sintra. Estes dados são mais rigorosos do que os procedentes das cartas do Atlas do Ambiente, que são para todo país e, portanto, mais genéricas.

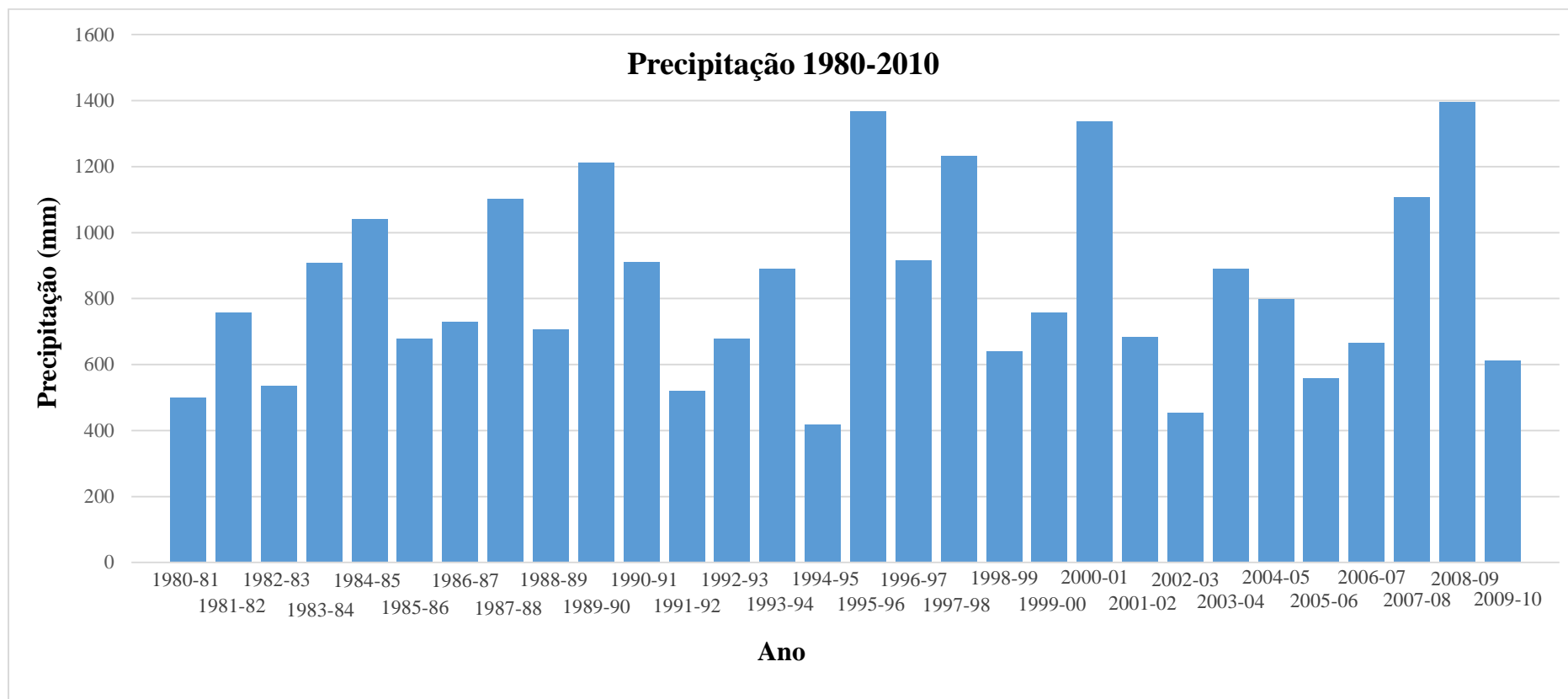


Gráfico 2.1 – Precipitação média anual no período 1980-2010 na estação de Pragança (Cadaval).

2.6 Hidrogeologia

O litoral de Torres Vedras pertence à bacia hidrográfica das ribeiras do Oeste, cuja drenagem ocorre a Norte pela Bacia da Ribeira do Sorraia e a Sul pela Bacia do Sizandro. Para a caracterização hidrogeológica da área estudada, foram considerados os seguintes complexos: Complexo das “Margas da Dagorda” (Formação de Dagorda), Complexo do Cretácico Inferior (Formação de Almargem), os Grés e Argilas do Jurássico e as dunas Holocénicas.

Segundo Manuppella *et al.* (1999) as “Margas da Dagorda” comportam-se como um aquícluso, funcionando como obstáculo a circulação da água. Quanto ao Jurássico, os grés e argilas dão origem a alguns níveis aquíferos muito irregulares e pouco abundantes (Zbyszewski *et al.*, 1955). Para o interior, os “Calcários da Pedreira”, Calcários da Cesareda e formações do Oxfordiano formam um sistema aquífero cársico com recarga a partir do planalto da Cesareda, alimentando, por exemplo, as nascentes termais do Vimeiro. As formações do Kimmeridgiano também apresentam captações para o interior com caudais médios significativos. Contudo, não há referência ao comportamento hidrogeológico de outras formações do Kimmeridgiano no litoral de Torres Vedras. Já nas formações do Titoniano conhecem-se captações na Formação do Bombarral. Estas formações do final do Jurássico constituem aquíferos multicamada com características de confinamento, apresentando caudal médio entre 0.7 e 2.7 L/s. Por fim, o Cretácico Inferior é representado pelos “Grés de Torres Vedras” ou Formação de Almargem, que constituem um aquífero multicamada livre a confinado. Apresenta três furos em Santa Cruz com níveis hidrostáticos entre 21 e 28 m e caudal entre 3 a 6 L/s, respectivamente. Nas dunas Holocénicas de Santa Cruz, também foram identificados alguns furos produtivos, de elevada permeabilidade, a profundidades entre 7 e 17 m, e com caudais que variam entre 0.4 a 1.0 L/s. Os níveis hidrostáticos são muito baixos (rondando os 5 m), podendo ter alguma influência na estabilidade das arribas litorais daquela área, visto que as dunas cobrem as arribas entre a Praia de Santa Cruz e Praia de Santa Rita, sendo o sector entre a Praia da Vigia e Praia do Seixo o mais preocupante.

2.7 Hidrologia Marítima

Como é do conhecimento geral, a erosão marinha tem grande influência na evolução das arribas, ao contrário do que se passa nas vertentes do interior. A subida do nível médio do mar e a acção das ondas são fundamentais, pois actuam desde a formação inicial das arribas costeiras. Segundo Andrade (1991), cerca de 10-20% do recuo costeiro resulta directamente da subida do nível médio do mar, com 80-90% relacionado com a falta de reposição sedimentar ao longo do litoral. Em Portugal, com base nos dados obtidos do marégrafo de Cascais, Dias e Taborda (1992) calcularam que, no século passado, houve uma subida do nível médio do mar de 1.7 ± 0.3 mm. Quanto à ondulação, e conforme Pires (1989), a costa Oeste encontra-se exposta à ondulação originada na ampla área oceânica do Atlântico Norte. Nesta faixa do litoral Oeste a direcção dominante de ondulação é de NW, com uma altura média de 2.5 m. Mais tarde Henriques (1996) e Pontes *et al.* (2000) confirmam o rumo NW como predominante, embora com decréscimo da percentagem em relação aos dados de Pires, (1989).

Associadas a episódios de tempestade, são referidas várias situações em que a altura significativa das ondas alcançou os 7.5 e 8.5 m, com a altura máxima a chegar aos 15 m (Pires, 1978, 1979; Daveau *et al.*, 1978; Feio, 1980 e Pereira; 1996 *in* Neves, 2004).

Tendo em conta o predomínio de NW da ondulação, e de acordo com Freire *et al.* (2002), que simulou a deriva litoral para Buarcos (Figueira da Foz), a direcção da deriva litoral apresenta, na maioria dos casos, uma direcção de N-S (97% das situações).

3. Tipos, Processos e Geodinâmica Associada aos Movimentos de Vertente

3.1 Introdução

Os movimentos de vertente, para além da perigosidade associada ao volume e à velocidade do material mobilizado, são fenómenos tipicamente imprevisíveis. Em alguns casos, podem existir indícios de um possível movimento de vertente, tal como o ruído gerado pela fracturação da rocha, a queda de blocos de pequenas dimensões, ou o estalar de raízes (Bird, 1990), antecipando a evacuação da base da arriba. A definição de movimento de vertente não é fixa e varia conforme os autores, embora as várias definições não sejam muito diferentes umas das outras. Um movimento de vertente, segundo Cruden e Varnes (1996), é um movimento de uma massa de rocha, detritos ou de terra ao longo de uma vertente. Este termo foi constantemente evoluindo, e sendo adaptado ao longo do tempo pela International Association of Engineering Geology (IAEG) e Working Party on the World Landslide Inventory (WP/WLI). Mais tarde, Guzzetti (2005), acrescentou a esta definição o conceito de magnitude específica, o qual está relacionado com a dimensão da área abrangida pelo movimento e com a sua velocidade (Guzzetti, 2003). Já Griffiths (2005) afirma que os movimentos de vertente são descritos como movimentos rápidos de materiais constituintes de uma zona declivosa, por meio de queda, escorregamento e fluxos, ou uma combinação destes. Mais recentemente, De Blasio (2011) refere um movimento de vertente como o movimento de rocha, detritos ou solos causado pela acção de gravidade.

Os movimentos de vertente têm um papel importante na evolução do relevo e são considerados como uma das grandes fontes de perigos naturais em várias regiões da Terra, sendo responsáveis por um grande número de perdas de vidas e económicas. Resultam da acção de um conjunto de fenómenos de origem natural ou antrópica, que implicam o deslocamento de massa, de solos e rochas, de posições mais elevadas para outras mais baixas, numa encosta (natural) ou num talude artificial (em aterro ou em escavação).

O facto de existir um espectro riquíssimo de movimentos de vertente dificulta a sua compreensão. Isto implica que não existe um método único para identificar e mapear movimentos de vertente, com objectivo de verificar e avaliar o risco associado (Guzzetti, 2005).

Os movimentos de vertente dependem, a nível geológico por exemplo, de factores como a litologia, a textura, a estrutura e a rede de fracturação e, a nível geomorfológico, de factores como a morfologia das vertentes, a exposição, os declives, a rede de drenagem e a ocupação do

solo (Teixeira, 2005). Outro factor que assume relevância na influência dos movimentos de vertente é precipitação, sendo o conhecimento da sua quantidade, intensidade e duração características igualmente importantes.

Os movimentos de vertente podem, então, ocorrer em diferentes contextos morfológicos, geológicos e litológicos, tornando-se imperativo a identificação do tipo de movimento, bem como, a análise de factores condicionantes e factores desencadeantes que levam à ocorrência do mesmo. A classificação do tipo de movimento vai depender de vários critérios, como sejam: a natureza, a deformabilidade intrínseca ao terreno, a geometria do corpo deslocado, a velocidade e o sentido de deslocamento. A avaliação da perigosidade associada aos movimentos de terreno começa com uma recolha de informação, englobando a percepção da sua constituição, localização, data da ocorrência (quando possível) e o tipo de movimentos associado. Para o estudo dos movimentos de vertente a informação a reter é muito volumosa, mas necessita de ser obtida de forma metódica, para que seja possível um posterior tratamento estatístico e uma representação cartográfica.

3.2 Geometria dos Movimentos de Vertente

Para os tipos de movimento serem discutidos é necessário estabelecer um vocabulário para as morfologias típicas observadas, normalmente resultantes da sua dinâmica, e discutir alguns métodos que exprimem as dimensões e geometria destas. A Figura 3.1 mostra um esquema de um movimento do tipo escorregamento rotacional.

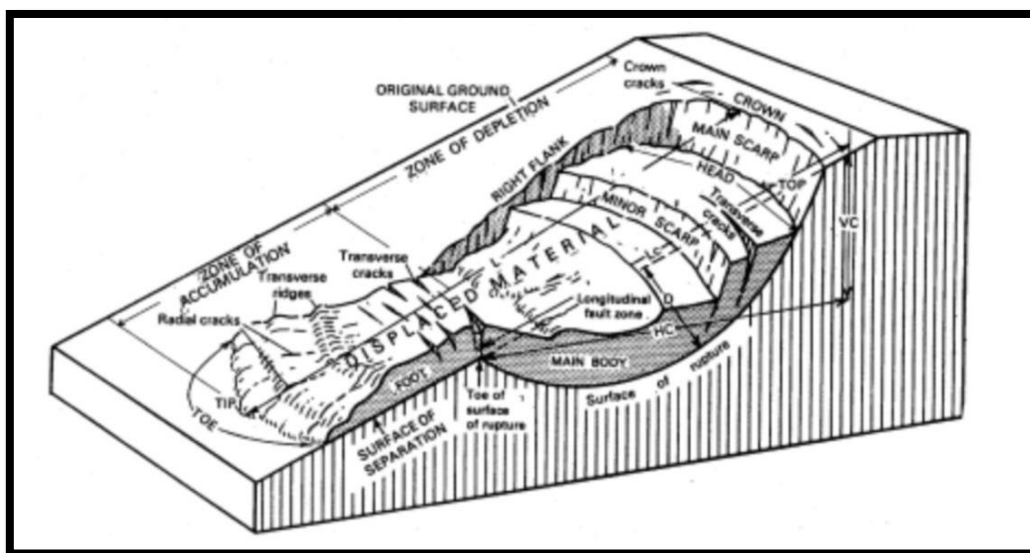


Figura 3.1- Termos que descrevem a morfologia de um escorregamento (adaptado de Cruden e Varnes, 1996).

Os nomes das figuras presentes não mudaram desde a classificação de Varnes em 1978, embora tenham definições mais completas do que anteriormente. É notório que, na zona de depleção (*zone of depletion*), a altura da superfície topográfica diminui como resultado da movimentação, enquanto na zona de acumulação (*zone of accumulation*) a altura da superfície topográfica aumenta. Isto pode ser observado através da comparação entre mapas topográficos e Modelos Digitais de Terreno (MDT) antes e depois da ocorrência do movimento. O volume diminui na zona de depleção e aumenta na zona de acumulação, sendo esta geralmente maior, pois a massa deslocada dilata normalmente durante a movimentação. A superfície de ruptura (*rupture surface*) é, frequentemente, chamada de superfície de escorregamento (*sliding surface*).

Alguns termos morfológicos são difíceis de aplicar aos movimentos de vertente que percorrem longas distâncias, como fluxos de detritos e avalanches de detritos, onde a massa deslocada praticamente deixa vago o espaço acima da superfície de ruptura e se move em direcção descendente. O espaço entre a superfície de ruptura e a superfície topográfica original pode ser chamado de local fonte ou *source* (Fell *et al.*, 2000). A faixa de terreno percorrido pelo movimento de vertente a partir do local fonte pode ser referida como caminho (*path*) ou pista (*trail*), enquanto a zona de acumulação, neste caso, coincide com zona de depósito (*deposit*), como demonstrado na Figura 3.2 (King, 1999 *in* Fell *et al.*, 2000).

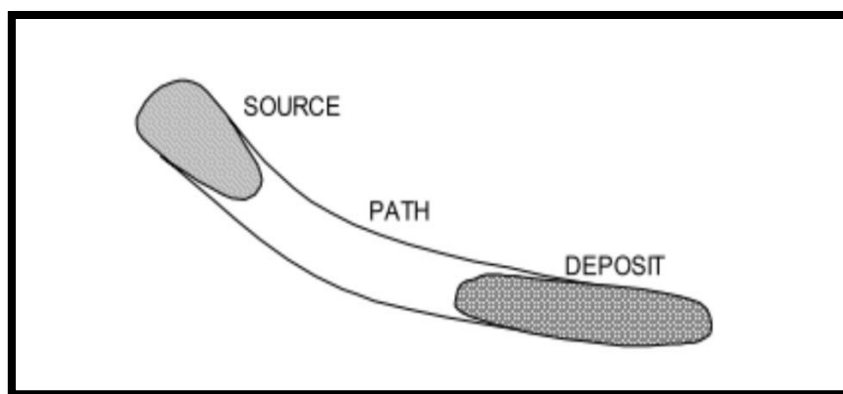


Figura 3.2 - Componentes de um *landslide* longo (adaptado de Fell *et al.*, 2000).

3.3 Classificação dos Movimentos de Vertente

Muitos dos cientistas, preocupados com a identificação e avaliação da perigosidade associada a estes movimentos, desenvolveram sistemas de classificação. Baltzer (1875) in Fell *et al.* (2000) foi o primeiro a estabelecer as quedas (*falls*), os escorregamentos (*slides*) e os fluxos (*flows*) como mecanismos principais dos movimentos de vertente. Posteriormente, Howe (1909) e Heim (1932) in Fell *et al.* (2000) fizeram notáveis avanços na classificação destes fenómenos. Sharpe (1938) definiu estes movimentos como a queda ou escorregamento perceptível e descendente de uma massa relativamente seca de terra, rocha ou mistura de ambas. Englobou três classes de *creep* ou reptação (rocha, taludes e solos) e outras duas de movimentos designados por escoada (*flow*) e escorregamentos (*slip*). Terzaghi concentrou-se mais nas características e no comportamento dos materiais. Formulou um novo sistema de classificação em que considerava os factores de predisposição que levam à ruptura na vertente. Em 1950, Terzaghi tendo como base o mecanismo actuante, distinguiu dois conjuntos principais de movimentos: os escorregamentos (*slip*) e a reptação (*creep*). Este último, segundo o mesmo autor, avança de um modo contínuo mais subtil, a uma média de 0,3 m por decénio. Terzaghi definiu, também, que os escorregamentos são deslocções rápidas de uma massa rochosa, solo residual ou sedimentos, adjacentes a um talude, onde o centro de gravidade da massa em movimento avança numa direcção orientada para baixo e para fora. Posteriormente, em 1958, Varnes definiu uma classificação que reuniu três tipos fundamentais de movimento: quedas (*fall*), escorregamentos (*slide*) e fluxos (*flow*) (e as suas diferentes combinações). Mais tarde, em 1978, o mesmo autor tentou definir os movimentos de vertente e diferenciar as suas tipologias. Os principais critérios usados pela classificação apresentada em 1978 eram, em primeiro lugar, o tipo de movimento e, em segundo lugar, o tipo de material. Os tipos de movimento foram divididos em cinco grandes grupos: quedas (*falls*), tombamentos (*topples*), escorregamentos (*slides*), expansões (*spreads*) e fluxos (*flows*). O sexto grupo, correspondente aos movimentos complexos (*complex slope movement*), incluiu combinações de dois ou mais dos restantes tipos de movimentos. Por sua vez, os materiais, encontram-se divididos em duas classes: rocha e solo, sendo este último subdividido em detritos (*debris*) e terras (*earth*). Mais tarde, Hutchinson (1988) sistematizou uma outra classificação, cujos critérios se basearam na morfologia do movimento (considerando este como critério principal), e nos mecanismos e taxa de movimento (estes já critérios secundários). Excluiu as subsidências e outros abatimentos do solo, avalanches de neve ou gelo.

A WP/WLI foi criada pela United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO) em 1991 e, sobre a orientação de Cruden, tentou unificar numa única classificação

os movimentos de vertente. Este autor, em 1991, propôs uma definição de *landslide*, que o refere como um movimento descendente de uma massa de rocha, terra ou detritos numa vertente. Retirou portanto, as deslocações predominantemente verticais de subsidência lenta, os abatimentos, as avalanches de neve e gelo e deslocações devidas à expansão e retracção de solos argilosos. Posteriormente, Cruden e Varnes (1996) sistematizaram esta classificação (Tabela 3.1), mantendo o conteúdo semelhante à de Varnes (1978). Esta classificação é muito simples e é a mais usada internacionalmente.

Tabela 3.1 - Classificação das tipologias de movimentos de vertente segundo Cruden e Varnes (1996).

Tipo de Movimento		Tipo de Material		
		Rochas	Solos	
			Dominante Grosseira	Dominante Fina
Quedas/Desabamentos (<i>falls</i>)		Rochoso (<i>rock fall</i>)	Detritos (<i>debris fall</i>)	Terra (<i>earth fall</i>)
Tombamentos (<i>topples</i>)		Rochoso (<i>rock topple</i>)	Detritos (<i>debris topple</i>)	Terra (<i>earth topple</i>)
Escorregamentos (<i>slides</i>)	Rotacionais	Rotacional rochoso (<i>rock slump</i>)	Rotacional de detritos (<i>debris slump</i>)	Rotacional de terra (<i>earth slump</i>)
	Translacionais	Translacional em bloco rochoso (<i>rock block slide</i>)	Translacional em bloco de detritos (<i>debris block slide</i>)	Translacional em bloco de terra (<i>earth block slide</i>)
		Translacional rochoso (<i>rock slide</i>)	Translacional de detritos (<i>debris slide</i>)	Translacional de terra (<i>earth slide</i>)
Expansões Laterais (<i>lateral spreads</i>)		Rochosa (<i>rock spread</i>)	Detritos (<i>debris spread</i>)	Terra (<i>earth spread</i>)
Escoadas (<i>flows</i>)		Rocha (<i>rock flow</i>) (<i>deep creep</i>)	Detritos (<i>debris flow</i>)	Terra (<i>earth flow</i>)
			(<i>soil creep</i>)	
Complexos (<i>complex</i>)		Combinação de dois ou mais tipos de movimentos		

3.3.1 Tipologia e Características dos Movimentos de Vertente

Já foram anteriormente definidos os conceitos e classificações dos movimentos, sendo então necessário ordenar os movimentos de vertente, de terreno e de massa numa terminologia. Zêzere (1997) apresenta uma síntese sobre a terminologia e os conceitos relacionados com movimentos de vertente. Conforme a Tabela 3.2, os movimentos de vertente englobam quedas, tombamentos, escorregamentos, expansão lateral, escoadas e movimentos complexos. Já os movimentos de terreno reúnem os movimentos de vertente, as deslocções verticais (abatimentos e assentamentos), os movimentos relacionados com expansão lateral em superfícies pouco inclinadas e expansão e retracção de solos argilosos. Os movimentos de terreno envolvem uma ruptura e movimento sincrónico da massa afectada, abrangendo todas as formas de deslocamento que se podem verificar e todos os materiais que podem ser deslocados (Flageolet, 1989 *in* Zêzere, 1997). Os movimentos de massa, por sua vez, abarcam os movimentos de vertente, de terreno, movimentos sub-aquáticos e *sturzstorms*

Tabela 3.2 – Terminologia dos movimentos, proposta por Rodrigues (1998).

Movimentos de Vertente	Quedas
	Tombamentos
	Escorregamentos
	Expansão lateral
	Fluxos
	Movimentos complexos
Movimentos de Terreno	Movimentos de vertente
	Expansão lateral em superfícies com inclinação fraca e nula
	Movimentos de subsidência, colapsos e outros abatimentos (incluindo os relacionados com a dissolução)
	Expansão e retracção em solos argilosos
Movimentos de Massa	Todos os movimentos de terreno
	Restantes movimentos de massa. Incluindo os associados ao gelo (desabamentos de gelo, movimentos devidos a <i>pipkrakes</i> , gelifluxão, criorrepatação, escorregamentos de clastos gelados etc.) e à neve (avalanches de neve, solifluxão, etc.)
	Movimentos sub-aquáticos
	<i>Sturzstroms</i>

3.3.1.1 Quedas ou desabamentos (*falls*)

As quedas ou desabamentos iniciam-se por um descolamento de solo, rocha ou ambos, a partir de uma inclinação acentuada ao longo de uma superfície. Os movimentos tangenciais são nulos ou reduzidos, em que pouco ou nenhum deslocamento da ruptura ocorreu (Figura 3.3). O material depois entra em fase descendente, principalmente, por queda, saltação, ou rolamento. Trata-se de um movimento classificado como muito rápido a extremamente rápido, salvo se a massa deslocada for escavada, pois neste caso a queda será precedida por pequenos movimentos de escorregamento e tombamento ou expansão lateral, que separam o material deslocado da massa não perturbada, como acontece nas arribas costeiras que possuem sapas. Cruden e Varnes (1996) também afirmaram que a velocidade de rolamento depende do declive, ficando em queda livre se a vertente exceder os 76° de inclinação. Abaixo deste valor o material em movimento descendente toca na vertente, causando ressalto ou saltação. É muito comum em vertentes muito acentuadas ou verticais e, em particular, em zonas costeiras. O volume de material em movimento pode variar substancialmente, desde pequenas rochas e aglomerados de solo até grandes blocos maciços de centenas de metros cúbicos.

É, então, necessário ter em consideração o facto de as vertentes possuírem ou não cobertura vegetal. Os materiais deslocados por desabamentos podem percorrer grandes distâncias e danificar, propriedades, bloquear por exemplo linhas de transporte como estradas e ferrovias, ou, inclusive, levar à perda de vidas humanas.

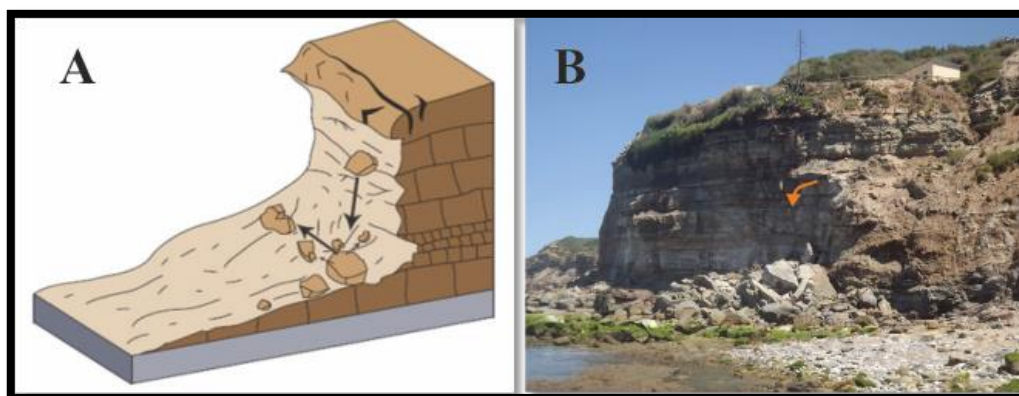


Figura 3.3 - Esquema de uma Queda de Blocos (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e respectiva foto (B) de um desabamento no terreno junto ao Porto de Pesca da Assenta.

3.3.1.2 Tombamentos (*topples*)

Um tombamento é descrito como uma rotação de uma massa de solo ou rocha a partir de um ponto ou eixo, situado abaixo do centro de gravidade da massa afectada (Figura 3.4). Por vezes, é conduzido pela acção das forças laterais exercidas por unidades adjacentes ou pela presença de água (líquida e sólida) e raízes de plantas nas diaclases e fracturas. Este tipo de movimentos, pode levar a quedas ou escorregamentos, que dependem da geometria da superfície de separação e da orientação e extensão das descontinuidades cinematicamente activas. São frequentes em terrenos vulcânicos que apresentam disjunção colunar, como também em ribeiros e rios com margens íngremes. A sua velocidade varia entre movimentos extremamente rápidos e extremamente lentos, por vezes com acelerações durante o movimento descendente. Existem diferentes estilos de tombamento. De Freitas e Waters (1973), e mais tarde Goodman e Bay (1976) in Cruden e Varnes (1996), classificam os tombamentos quanto ao tipo de processo envolvido, distinguindo tombamentos por flexura, tombamentos em bloco e tombamentos em bloco por flexura. Os tombamentos por flexura ocorrem em rochas que apresentam um sistema preferencial de descontinuidades com a mesma orientação ou semelhante à superfície do talude. O critério para a ruptura é determinado pelo momento e tensão de corte, associados à curvatura dada pelas colunas de material afectado. O movimento basculante destas colunas depende também da erosão do sopé que a suporta. O movimento para o exterior de cada coluna produz escorregamentos inter-camada (conhecido como *flexural slip*) e escarpas invertidas (característico de vertentes constituídas por ardósia, xistos e filitos). Em contraste, os tombamentos em bloco ocorrem quando estas colunas estão separadas por descontinuidades de grande abertura. O sopé da vertente com colunas mais pequenas recebe uma sobrecarga superior das colunas maiores que se situam na parte superior do talude. Deste modo, as colunas do sopé são empurradas para a frente, permitindo o tombamento. Como exemplos de tombamentos em bloco tem-se os tombamentos em *chevron*, os tombamentos bloco-flexura e os tombamentos complexos ou compósitos. Este tipo de movimentos pode ser muito destrutivo, especialmente quando a ruptura é repentina e quando a velocidade é elevada.

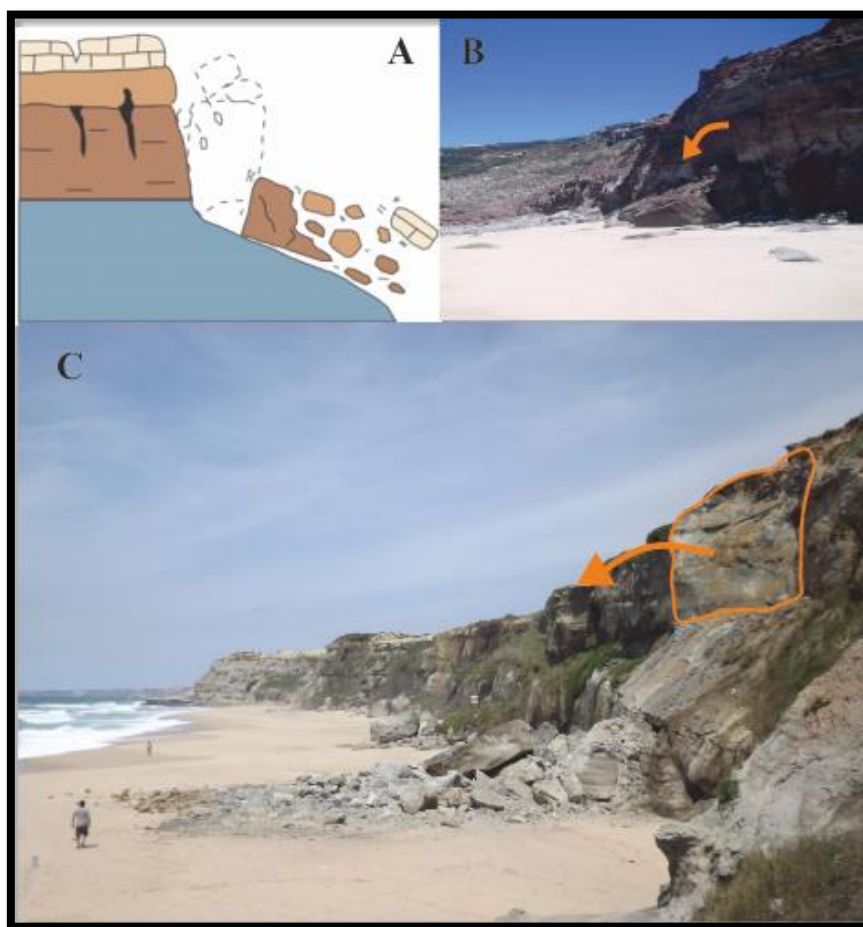


Figura 3.4 - Esquema de um Tombamento (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008). Exemplos de Tombamentos na área de estudo: A – Tombamento na Praia de Cambelas; B – Tombamento ocorrido na Praia da Mexilhoeira com um consecutivo escorregamento sobre a face da arriba.

3.3.1.3 Escorregamentos (*slides*)

Os escorregamentos, segundo Cruden e Varnes (1996), são movimentos de solo ou rocha que se verificam, predominantemente, ao longo de planos de ruptura ou de zonas relativamente estreitas, alvo de intensa deformação tangencial. O movimento inicial não é simultâneo sobre toda a superfície eventual de ruptura. Os primeiros sinais de instabilidade, que evidenciam o início do processo, são as estrias ao longo do plano principal de ruptura e nas zonas laterais que indicam a direcção de deslocamento. A massa deslocada durante o movimento permanece em contacto com o material subjacente não afectado, apresentando graus de deformação bastante variáveis, consoante o tipo de escorregamento (Zêzere, 2000). No entanto, o movimento pode ser progressivo, quando a massa desloca-se para além da face de ruptura e do sopé da vertente, cobrindo, neste caso, a superfície topográfica (superfície de separação), ou retrogressivo, quando a superfície de ruptura se estende na direcção oposta ao movimento do material

deslocado (frequente em escorregamentos translacionais). Os escorregamentos são activados, quando a resistência ao corte dos materiais é ultrapassada pela tensão tangencial (Ayala *et al.*, 1991; *in* Zêzere, 2000). A superfície de cisalhamento pode ser curva ou côncava, o que pode originar escorregamentos rotacionais (*slumps*), ou relativamente planar a ondulada, provocando escorregamentos translacionais. Estes últimos frequentemente evoluem para fluxos ou expansões.

Nos escorregamentos rotacionais a superfície de ruptura é materializada por um abatimento a montante do escorregamento e por um levantamento do seu sector frontal, formando uma estrutura em forma de lóbulo, na qual se desenvolvem fendas de tração transversais (Vallejo *et al.*, 2002) (Figura 3.5). Sirieys (1984) afirma que este tipo de escorregamentos ocorre em superfícies de ruptura curvas, em meios geralmente homogêneos e isotrópicos. Os escorregamentos translacionais são típicos de meios anisotrópicos e apresentam, usualmente, um claro controlo estrutural. O plano de ruptura desenvolve-se ao longo de superfícies de fraqueza, marcadas por uma resistência ao corte reduzida (falhas, planos de estratificação, diaclases (Varnes, 1978; Bell e Pettinga, 1988). As superfícies de ruptura apresentam, por vezes, formas idênticas a estrias, resultantes da fricção entre as duas massas em contacto. Os escorregamentos translacionais são, geralmente, menos profundos do que os escorregamentos rotacionais. A razão D/L (D – profundidade máxima; L – comprimento máximo) para os escorregamentos translacionais em solos é tipicamente menor do que 0,1 (Skempton e Hutchinson, 1969). Durante um escorregamento translacional o material deslocado pode romper, particularmente se a velocidade ou o conteúdo em água aumentar. Se tal acontecer a massa deslocada pode fluir em vez de escorregar. A escarpa pode coincidir, em muitos casos, com fracturas íngremes. Na região da coroa é natural descobrirem-se fendas sub-verticais, que contornam a massa e a superfície de ruptura ao longo da encosta. No sopé da vertente, junto à superfície de ruptura, forma-se um plano com uma inclinação muito menor que a vertente.

Os escorregamentos complexos ou compósitos são comuns, podem iniciar-se em qualquer tipo de substrato e podem dar origem a quedas e outros escorregamentos. Geralmente, embora não seja recomendada, existe uma separação em dois tipos: *mudslide* e *flowslide*. Os *mudslides* têm normalmente um movimento muito lento, apresentam uma forma lobulada e alongada e são constituídos por acumulações de detritos numa matriz argilosa, que avança, geralmente, por escorregamento em superfícies de cisalhamento delimitadas. O termo *flowslide* tem sido usado para descrever colapsos repentinos de material, que percorrem distâncias consideráveis a uma velocidade rápida a extremamente rápida.

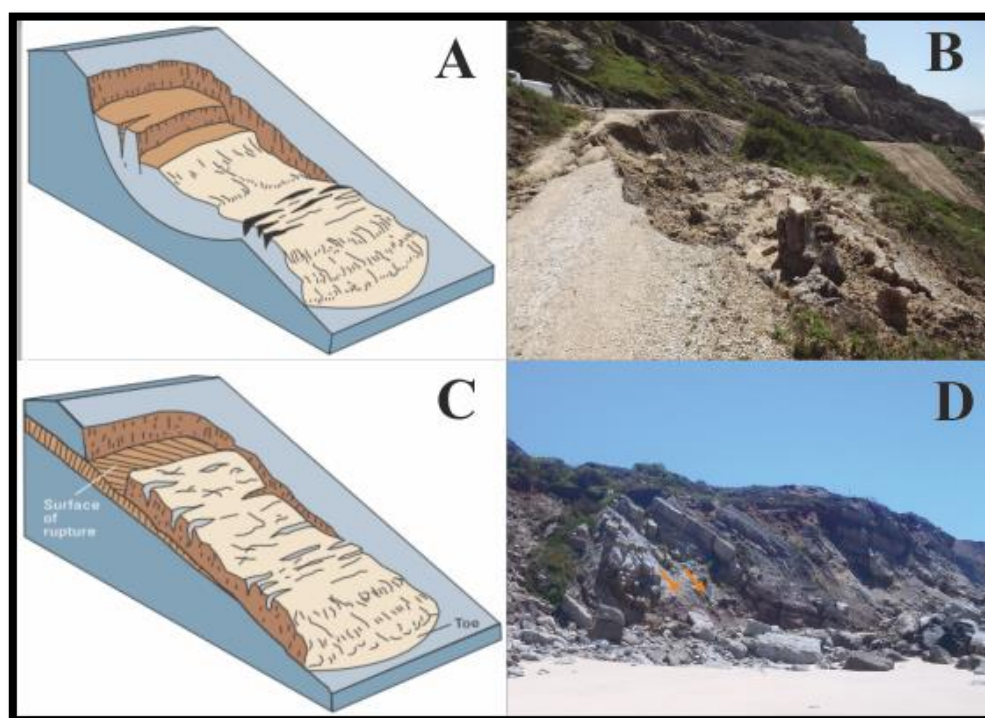


Figura 3.5 - Esquematisação de um escorregamento rotacional (A) e translacional (C) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) com respectivos exemplos no terreno: Escorregamento rotacional (B) junto à Praia da Amoreira e Escorregamento translacional na Praia de Cambelas (D).

3.3.1.4 Expansão Lateral (*lateral spreading*)

Este termo foi introduzido em 1948, por Terzaghi e Peck, para descrever o movimento súbito de areias ou siltes saturados em água sobre argilas homogéneas ou materiais de aterro. A expansão lateral é explicada, conforme Cruden e Varnes (1996), como a extensão de um solo coesivo ou de uma massa rochosa combinada com uma subsidência geral de massa fracturada do material coesivo, sob material mais brando subjacente (Figura 3.6). A superfície de ruptura não é uma superfície governada por um forte cisalhamento e, por isso, não é bem definida. A expansão lateral pode resultar da liquefacção ou da fluidização do material mais brando. Estes movimentos são complexos mas são suficientemente comuns em certos materiais e disposições geológicas, que o reconhecem como um novo tipo de movimento. A expansão lateral em rocha processa-se de forma muito lenta, com uma componente principal translacional, que resulta de deformações visco-plásticas ligadas à tensão gravítica. Ocorre quando uma unidade espessa de rocha jaz sobre uma unidade de materiais mais deformáveis. Por outro lado, a expansão em solos é um mecanismo extremamente rápido, caracterizado pelo colapso de uma camada de solo, a uma certa profundidade, seguindo-se o assentamento das camadas subjacentes mais

resistentes ou a ruptura progressiva de toda a massa afectada (Buma e Van Asch, 1996 *in* Zêzere, 1997).

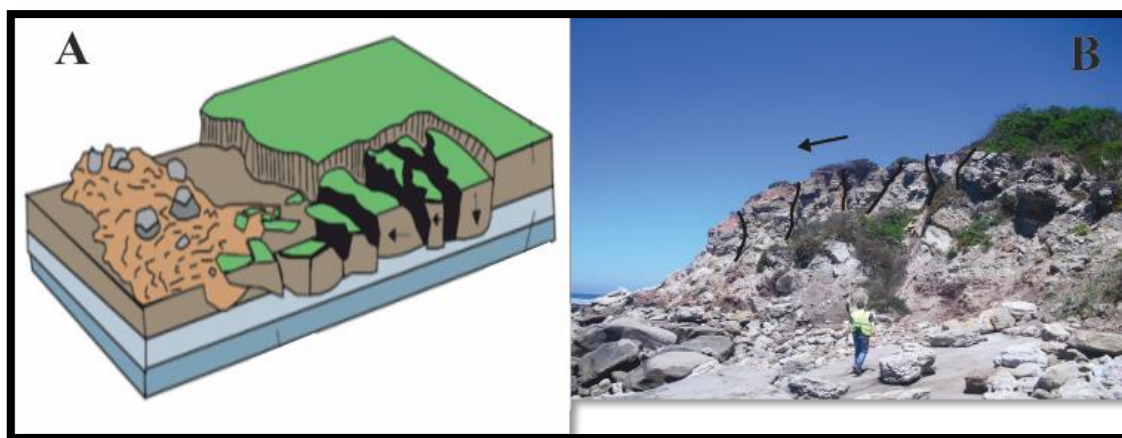


Figura 3.6 - Esquema com expansão lateral (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e respectivo aspecto no terreno (B) (Praia de Cambelas).

3.3.1.5 Fluxos (*flows*)

Os fluxos ou escoada são movimentos contínuos no espaço em que as superfícies de tensão tangencial são momentâneas e, frequentemente não preservadas. A distribuição da velocidade na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso (WP/WLI, 1993) (Figura 3.7). É normalmente constituído por uma mistura desagregada de partículas de variadas dimensões e água e ar. Existe uma grande deformação interna dos materiais, devido às tensões estarem distribuídas por toda a massa afectada, e também devido à presença de velocidades diferenciadas junto à superfície. Consequentemente, ocorre uma transição gradual entre os escorregamentos e os fluxos, que depende da água, da mobilidade e da evolução do movimento. Este tipo de movimento pode permitir que se vão acumulando, ao longo da encosta, novos materiais, o que aumentara o volume do material deslocado. As escoadas tipicamente apresentam uma densidade elevada (mais de 50% de material sólido) e seguem canais pré-existent depositando-se, depois, sob a forma de cone ou leque. Zêzere (1997) afirma que os fluxos em rochas (*rock flow*) são deformações gravíticas profundas e movimentos lentos mais ou menos permanentes no tempo, que afectam massas rochosas muito diaclasadas ou estratificadas. Os fluxos de detritos (*debris flow*), segundo Corominas *et al.* (1996), são compostos por uma mistura de materiais heterogêneos finos (areia, silte e argila) e grosseiros (calhaus e blocos), com conteúdo em água variável. Formam uma massa que se desloca em direcção ao sopé da vertente, normalmente por impulsos sucessivos, induzidos pela força da gravidade, e pelo colapso repentino dos materiais de suporte. Podem originar movimentos

rápidos a extremamente rápidos (com velocidades da ordem dos 56 km/h), dependendo da consistência e da inclinação da vertente (Highland e Bobrowsky, 2008). As avalanches de detritos (*debris avalanche*) e os *lahares* são dois tipos de fluxo de detritos.

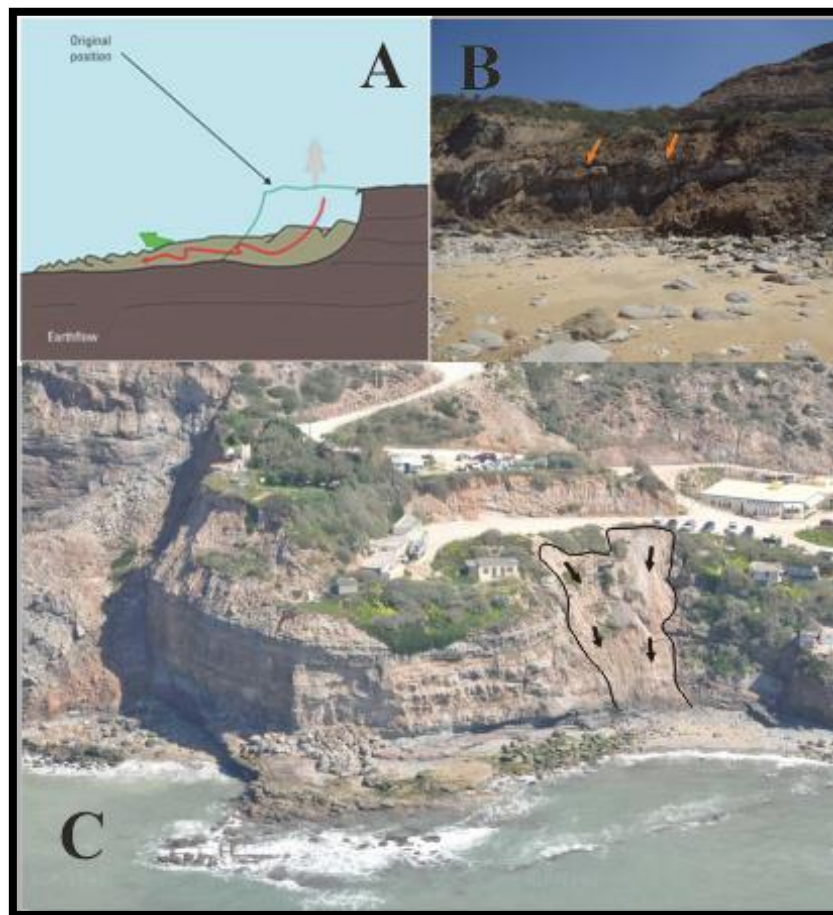


Figura 3.7 - Figura esquemática de um fluxo de terras (A) (adaptado de Highland e Bobrowsky, 2008) e exemplos desse tipo de movimento no troço estudado: fluxo de terras junto à Praia das Peças (B); fluxo de grandes dimensões próximo do Porto de pesca de Assenta (C).

3.4 Causas e Factores que Contribuem para Ocorrência de Movimentos de Vertente

De acordo com Varnes (1978) in Cruden Varnes (1996), os processos envolvidos na ocorrência de movimentos de vertente agrupam uma série contínua de eventos, desde a causa até ao efeito. Portanto, existe um conjunto de causas e factores que levam à instabilização da vertente e originam a ruptura. Geralmente, e com intuito de compreender os mecanismos envolvidos num movimento de vertente, é necessária uma investigação detalhada do local de estudo e um reconhecimento do movimento, o mais rapidamente possível após a sua ocorrência. Terzaghi (1950) distribuiu as causas que originam movimentos de vertente em causas internas,

causas externas e causas intermédias. As causas internas resultam da diminuição da resistência ao corte e as causas externas são resultado das acções externas que aumentam as tensões de corte. Por sua vez, as causas intermédias são todas aquelas que não são classificadas como internas e externas. As causas podem ser de origem natural e antrópicas. Uma combinação entre as duas também gera movimentos de vertente, usualmente incrementando a magnitude destes. As causas naturais podem ser subdivididas em geológicas, morfológicas e físicas (Figura 3.8).

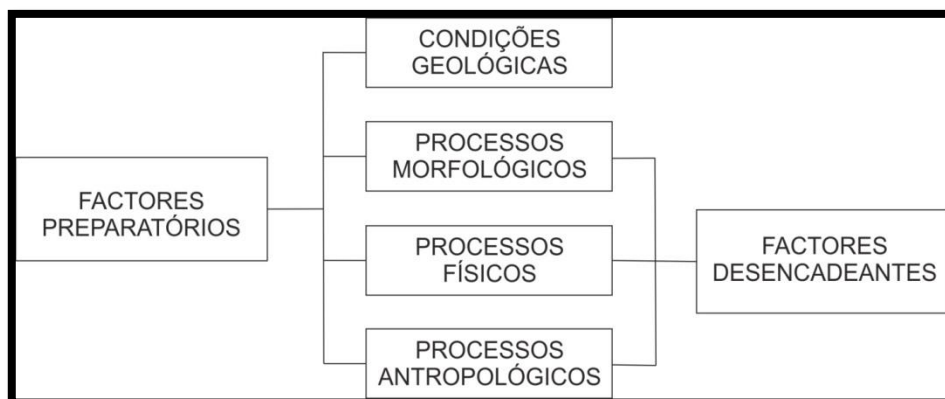


Figura 3.8 - Esquematisação dos factores condicionantes e preparatórios de movimentos de vertente (modificado de Popescu, 1994)

Os factores que preparam a ocorrência dos movimentos designam-se por factores condicionantes. Estes podem ser subdivididos em preparatórios ou desencadeantes, dependendo do estado de estabilidade de uma vertente, que pode ser estável, marginalmente estável, ou instável (Popescu, 1994) (Figura 3.9).

Os factores preparatórios, mediante Popescu (1994) são factores que exercem a sua influência na vertente para que esta fique susceptível à ocorrência de movimento, sem o iniciar efectivamente, mantendo-se num estado marginalmente estável. Os factores desencadeantes são aqueles que provocam ou iniciam o movimento. Estes movimentos são responsáveis pela passagem de um estado marginalmente estável para um estado instável. Podem existir factores que executem as duas funções, e que dependem do seu grau de actividade e da margem de estabilidade.

Popescu (1994) afirma que, embora seja possível identificar um único processo desencadeante, a explicação das causas primárias de um movimento de vertente envolve, invariavelmente, um conjunto de condições de preparação dos processos. Além disso, acrescenta que os processos, ou os factores condicionantes, podem ser divididos em processos de alteração lenta (meteorização, erosão etc.) e processos de alteração rápida (sismos, levantamento piezométrico etc.).

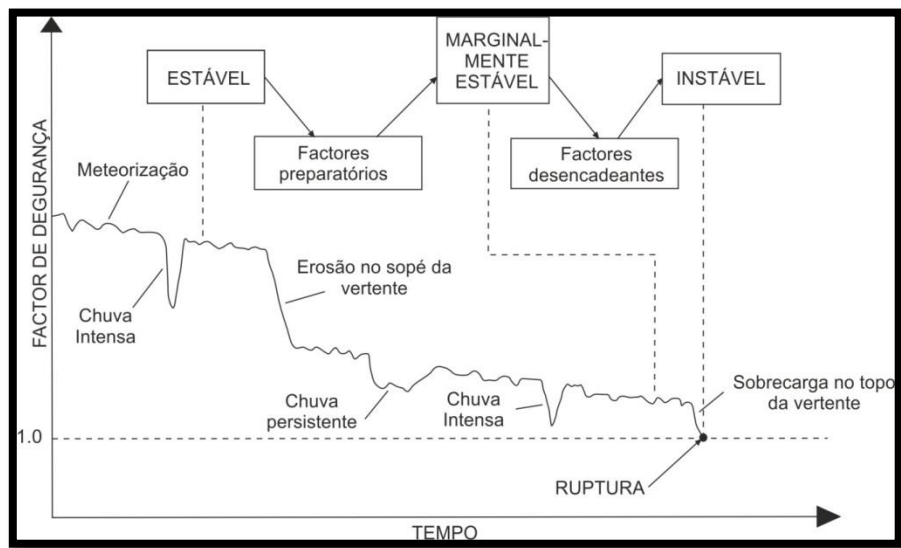


Figura 3.9 - Gráfico que mostra a evolução do Factor de Segurança e dos factores condicionantes em relação ao tempo (modificado de Popescu, 1994).

4. Evolução e Instabilidades nas Arribas Litorais

Geralmente as arribas evoluem por erosão do sopé, o que promove o desenvolvimento de plataformas de abrasão. Através de uma experiência de laboratório (Figura 4.1), Sunamura (1992) indica que os factores que dominam a erosão no sopé dependem do efeito provocado pelo impacto da ondulação e das propriedades do material que compõe a base, onde a erosão é na sua maioria, função da energia libertada (Figura 4.2). Este impacto da ondulação confere o desgaste mecânico e a separação de blocos no sopé (Marques, 1991).

Portanto, as ondas libertam energia que erode a base da arriba, o que irá influenciar a estabilidade da mesma. Este aumento de instabilidade vai motivar movimentos, resultando na acumulação de mais material no sopé. O clima, por sua vez, também tem uma parte activa na meteorização, através de processos físicos e químicos (Bird, 2000).

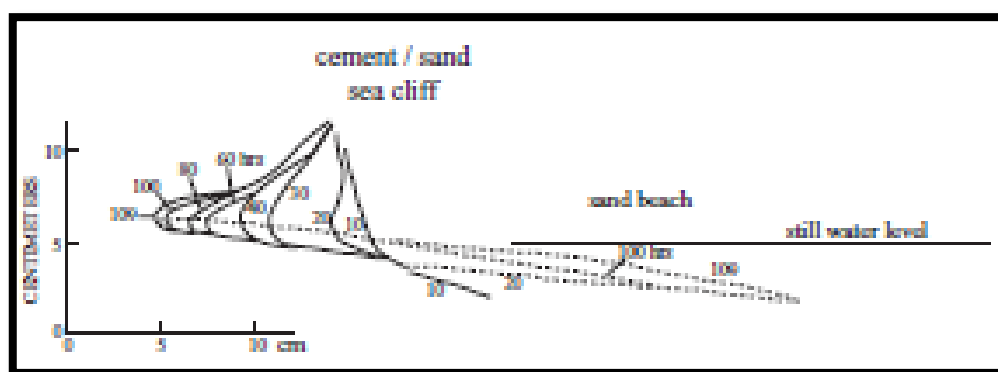


Figura 4.1 - A experiência de laboratório realizada por Sunamura, em que se pode observar a erosão provocada no sopé originando uma sapa (adaptado de Sunamura (1992)).

Os detritos resultantes dos movimentos de vertente constituem uma protecção temporalmente variável no sopé que depende, essencialmente, do volume da massa deslocada. Após remoção total da mesma pela ondulação, recomeça de novo a erosão da base, que irá potencialmente conduzir a novas movimentações. Este ciclo pode demorar anos ou décadas a repetir-se. A velocidade da erosão no sopé, por sua vez, depende do balanço entre a erosão provocada pela ondulação e as propriedades do material. Uma consequência importante na evolução das arribas costeiras é o recuo da linha de costa que, consoante uma variedade de factores, poderá ser lenta e constante ou rápida e episódica.

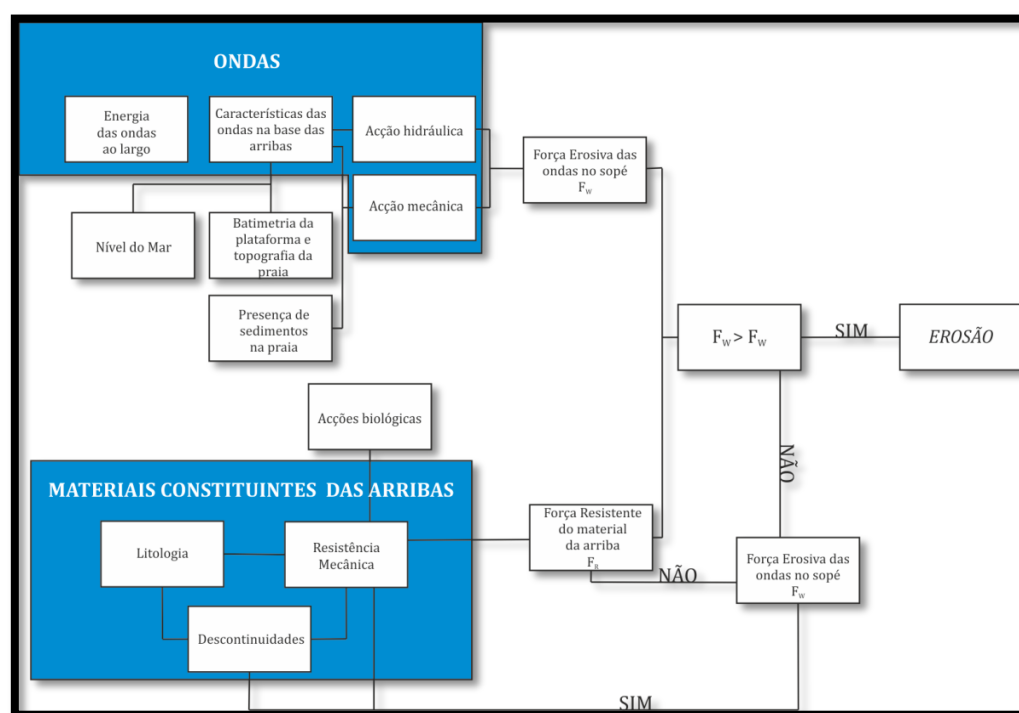


Figura 4.2 – Factores que afectam a erosão do sopé pela ondulação. (Sunamura, 1983 in Marques, 1997).

Conforme o traçado de perfil de uma arriba é possível identificar qual é o processo dominante em actuação. Um perfil íngreme de crista e com detritos na base indica um domínio de erosão marinha, enquanto um perfil convexo-sigmóidal de crista arredondada e um depósito na base originado pela gravidade, indica uma arriba inactiva ou abandonada, com domínio predominante de processos aéreos. Existem, igualmente, perfis heterogéneos, que eventualmente estarão relacionados com a alternância da actuação dos processos marinhos e terrestres. É, deste modo, que a combinação entre os processos subaéreos e marinhos com a natureza dos materiais constituintes origina diferentes tipos de arribas costeiras. Os factores que afectam geralmente, a grande escala, a evolução das arribas litorais são: o nível médio do mar, a ondulação ao largo e a meteorização.

A mudança do nível do mar modifica a frequência e duração do contacto com as vertentes costeiras. Como é conhecido, o nível do mar varia largamente a diferentes escalas globais. Um exemplo de escala temporal longa, é o da última glaciação, que resultou numa subida do nível do mar pelo degelo e expansão térmica dos oceanos. A escalas mais curtas tem-se, por exemplo, a variação do nível do mar com as marés e a sobrelevação causada por temporais. Segundo Emery e Aubrey (1991) a subida eustática do nível médio do mar é de 1 ou 2 mm/ano, embora mais recentemente Cabanes *et al.* (2001) tenha demonstrado uma taxa de subida de 3,2 mm/ano. Esta subida do nível do mar pode provocar enormes modificações nas plataformas costeiras,

sendo este um factor de extrema importância na erosão do litoral. Em Portugal foram determinadas algumas taxas de recuo resultantes da subida do nível do mar. No sector do Forte Novo no Algarve, entre 1983 e 1991, a taxa de recuo situou-se nos 3.5 m/ano, com um máximo local de 4 m/ano (Correia *et al.*, 1994 e 1996 *in* Dias *et al.*, 2000). No sector arenosos de Vagueira-Areão (Sul de Aveiro), no período entre 1980 e 1989, recuou cerca de 3.9 m/ano, com um máximo local superior a 6 m/ano (Ferreira e Dias, 1992 *in* Dias *et al.* 2000). A Sul de Espinho (sector Espinho e Cortegaça) a taxa de recuo observada, entre 1980e 1989, foi de 4.5 m/ano, com um máximo local superior a 12 m/ano (Ferreira e Dias, 1991 *in* Dias *et al.* 2000).

A ondulação tem também um papel importante na modelação das arribas litorais. A sua génese é resultado de um conjunto de particularidades físicas como a batimetria, as características ao largo, o nível das águas, a morfologia dos fundo próximos e das praias. Uma das evidências da erosão provocada pela ondulação no sopé é a presença de um entalhe basal conhecido como sapa. Normalmente, a ondulação tem maior efeito erosivo no Inverno. Esse facto leva a uma redução na largura da praia implicando, também, um maior incremento na erosão do sopé, uma vez que a rebentação dar-se-á mais perto da face da arriba, libertando assim mais energia. Marques (1997) e Edil *et al.* (2004) indicam que as ondas, ao atingir a arriba, exercem igualmente acções hidráulicas e mecânicas, quando existem sedimentos móveis, normalmente transportados da praia para arriba. Para as arribas que não apresentam uma plataforma de abrasão ou praia, e que permanecem continuamente em contacto com a água, o processo de formação de uma sapa é mais lento e afecta a superfície imediatamente acima do nível médio do mar.

A água em domínio continental, sendo um dos agentes erosivos principais, tem um papel duplo na modelação morfológica, pois tanto pode provocar erosão a nível superficial como a nível subterrâneo. A nível superficial o impacto da chuva pouco afecta a erosão, pois a força de tracção exercida é muito fraca. Porém, em períodos de tempestade, onde a escorrência é concentrada, provoca a desagregação dos grãos e pode originar ravinamentos no topo da arriba. A nível subterrâneo a perspectiva é diferente, sendo o efeito da água mais preponderante, visto que é capaz de gerar forças dinâmicas que diminuem a resistência e levam à ruptura gravitacional (Iverson e Major, 1986). A saturação provocada pela água subterrânea pode aumentar a pressão neutra nos poros e diminuir a tensão efectiva entre os grãos, embora também se possa considerar que, perante sedimentos parcialmente saturados, a tensão superficial da água nos contactos com os grãos incrementa a resistência e estabilidade do material. Para além disso, pode diminuir a coesão (dissolvendo quimicamente o cimento ou amolecendo argilas), causar erosão grão-a-grão e aumentar a densidade do sedimento. Este aumento de densidade amplifica

em si a força gravitacional e promove uma subida do nível piezométrico, reduzindo a estabilidade da vertente.

Como é conhecido, o nível da água subterrânea varia sazonalmente, como também a nível local, devido particularmente aos períodos de chuvas curtas e intensas. Por vezes, esta abundância relativa no conteúdo em água em aquíferos próximos da superfície topográfica, dá origem a exurgências na face da arriba, em especial quando existem alternâncias de camadas permeáveis e impermeáveis (o que se verifica na área estudada). Analogamente é frequente existirem exurgências devido à irrigação de terrenos cultivados ou descargas de águas junto a arribas costeiras (como ocorre a Norte de Santa Cruz).

Por fim, a alteração que afecta as rochas resulta, nomeadamente, da meteorização de origem física, química e biológica. A nível de meteorização física esta está associada à pressão exercida nas fracturas ou nos poros do material. Um exemplo comum é o aerossol de água no mar (*spray* marinho) que ao atingir a arriba, para além do efeito corrosivo que gera, também pode originar, por meio da recristalização do sal (ou outro mineral), a sua desintegração mecânica. Outro processo que tem o mesmo efeito é o congelamento da água (crioclastia), que se expande quando muda para o estado sólido. As reacções químicas, geradas pela presença de água provocam uma variedade de processos, tais como, a hidrólise e troca iónica, a oxidação, a carbonatação, a hidratação, a formação de quelatos e a dissolução (Marques, 1997). Edil *et al.* (2004) menciona que as arribas estão expostas a ambientes de meteorização severa, se estiverem repetitivamente sujeitas a ciclos de humedecimento e de secagem.

Portanto, a análise da estabilidade nestas vertentes não é um assunto de fácil compreensão, uma vez que as arribas litorais apresentam, frequentemente, movimentos que podem ser de qualquer tipo, e onde o volume de material deslocado pode variar entre poucos metros cúbicos a centenas de metros cúbicos. É principalmente a variação espacial da litologia, da estratificação, da orientação das fracturas e da sua densidade que, geralmente, controlam o tipo de movimento e a instabilidade global da vertente.

4.1 Vulnerabilidade, Perigosidade e Risco

O substancial agravamento dos desastres naturais, e dos impactos negativos que lhes estão associados, como foi referido no Capítulo 1, deve-se, em parte, à crescente ocupação humana e às actividades antrópicas, resultantes da elevada concentração de população no litoral. Assim sendo, a conjugação de troços costeiros vulneráveis à erosão costeira com a acção antrópica nessas zonas gera situações de perigo potencial.

A avaliação da perigosidade e do risco associado aos movimentos de vertente tem sido amplamente desenvolvida, mas importa ter em atenção que os próprios conceitos de vulnerabilidade, perigosidade e risco. Estes conceitos, utilizados em conjunto ou isolados, não são objecto de consenso para os investigadores.

Para este trabalho em particular, a definição utilizada dos conceitos perigosidade, vulnerabilidade e risco é baseada no trabalho de Varnes (1984). Este autor definiu a perigosidade (P) como a probabilidade de ocorrência de um evento que pode colocar em perigo elementos naturais e/ou actividades humanas, numa determinada área e num determinado período de tempo. O termo vulnerabilidade (V) consiste na maior ou menor sensibilidade/fragilidade dos elementos em risco (E), face a um movimento com uma determinada magnitude. Por fim, o conceito de risco ou risco específico (Re) traduz-se no produto da perigosidade com a vulnerabilidade e representa o grau expectável de perda dos elementos. Varnes (1984) definiu, ainda, o conceito de risco total. (Rt) Segundo este autor, o risco total corresponde a:

$$Rt = (E) (Re) = (E) (P \times V)$$

A susceptibilidade de ocorrência de movimentos (principal objectivo da presente dissertação) é constantemente confundida com perigosidade. A primeira corresponde à componente espacial da perigosidade, conhecida habitualmente como o grau que um determinado terreno é afectado por movimentos, isto é, uma estimativa de onde é mais provável a ocorrência de movimentos (Guzzetti, 2005). É traduzida matematicamente pela probabilidade de ocorrência espacial de um fenómeno potencialmente perigoso, sem quaisquer implicações temporais, e que depende de um conjunto de factores ambientais. Existem vários métodos que possibilitam a avaliação da susceptibilidade, sendo frequentemente utilizados os métodos estatísticos. Esta avaliação permite estimativas quantitativas das zonas onde é expectável a ocorrência de movimentos, baseando-se na informação pormenorizada da distribuição

movimentos, num determinado período, como também na análise dos factores de predisposição com influência na sua ocorrência.

5. Métodos Estatísticos

5.1 Introdução

A avaliação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos pode ser realizada com recurso a métodos de cartografia indirecta ou directa. A cartografia indirecta, segundo Soeters e van Westen (1996), pode envolver técnicas estatísticas, heurísticas e determinísticas. Os métodos estatísticos mais simples baseiam-se na quantidade relativa de movimentos, nas quais os *layers* temáticos, que mostram a distribuição geográfica dos factores de instabilidade, estão identificados. Diferentes abordagens foram feitas ao longo do tempo, baseando-se na abundância absoluta dos movimentos de vertente para determinar níveis de susceptibilidade associados. Outros métodos mais avançados deram origem a uma variedade de técnicas de classificação de diferentes abordagens como: Técnicas Estatísticas Clássicas (Frequentistas ou Fisherianas), Métodos Estatísticos Modernos (subjectivistas ou Bayesianos), Sistemas Lógicos Difusos, Redes Neurais e Sistemas Especialistas. Para estabelecer a probabilidade de ocorrência de movimentos é adoptada, geralmente, a abordagem frequentista. Esta abordagem inclui técnicas como a Análise Bivariada, a Análise de Regressão Múltipla, a Análise Discriminante e a Análise de Regressão Logística.

Na presente dissertação a finalidade é a aplicação de métodos estatísticos de Análise Bivariada, como seja o método do Valor Informativo, no sentido de quantificar a susceptibilidade à ocorrência de movimentos. Como Guzzetti (2005) refere, a susceptibilidade não considera a probabilidade de ocorrência de uma ruptura ao longo do tempo, nem a magnitude dos movimentos esperados. Também nas arribas costeiras a determinação da susceptibilidade da ocorrência de movimentos não atenta a possibilidade do uso da componente temporal (frequência temporal ou período de recorrência) (Marques *et al.*, 2011; Marques *et al.*, 2013). Neste caso, os modelos estatísticos para determinar a instabilidade espacial de movimentos de vertente são construídos para descrever a relações funcionais entre os factores de instabilidade e a distribuição no passado e no presente das rupturas de vertente (Carrara, 1983 *in* Guzzetti, 2005). De seguida, descreve-se o método que foi utilizado para estabelecer a probabilidade de ocorrência de movimentos de vertente no sector litoral de Torres Vedras, assim como, a abordagem estatística utilizada para a sua validação.

5.2 Método do Valor Informativo

O Método do Valor Informativo consiste numa descrição quantitativa, sob a forma de pontuações, das relações entre cada uma das classes relativas a cada um dos factores de predisposição e os movimentos de vertente (Yin e Yan, 1988). Este método de análise estatística indirecta foi popularizado e divulgado por Yin e Yan (1988), que o referem como modelos gerais e mais simples. Mais recentemente, no que diz respeito a estimação da susceptibilidade da ocorrência de movimentos, este método também foi utilizado por Zêzere (2002), aplicado à determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos em vertentes e por Marques *et al.* (2011) e Marques *et al.* (2013), na determinação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas, ou seja, em trabalhos com objectivos idênticos ao da presente dissertação. A aplicação deste método implica a definição prévia de unidades de terreno e a análise de factores condicionantes à ocorrência de instabilidade, os quais, posteriormente, são subdivididos em classes (variáveis). A pontuação do Valor Informativo dado a cada classe é calculada, segundo (Yin & Yan, 1988), com base no logaritmo neperiano da razão entre a densidade de movimentos de vertente numa classe de variável e a densidade movimentos de vertentes em toda a área:

$$Ii = \log \frac{Si / Ni}{S / N} \quad (1)$$

Em que:

Ii – Valor Informativo da variável i ;

Si – Número de unidades de terreno com movimentos de vertente na variável Xi ;

Ni – Número de unidades terreno com a variável Xi ;

S – Número total de unidades de terreno com movimentos de vertente;

N – Número total de unidades de terreno na área em estudo.

As principais vantagens da transformação logarítmica são a normalização dos dados e separação das variáveis, cuja relação espacial com as manifestações de instabilidade originam valores positivos quando as variáveis estão relacionadas com os movimentos (valores superiores à probabilidade) e valores negativos quando se opõem à ocorrência de movimentos (valores inferiores à probabilidade). Assim sendo, quando Ii é negativo considera-se que o factor em questão se opõe à ocorrência de instabilidades e quando Ii é positivo, considera-se a

existência uma relação entre o factor a instabilidade. Quando a variável apresenta valores próximos do zero indica que esta não é significativa em termos de estabilidade.

O Valor Informativo final de uma unidade de terreno j , é determinado por:

$$I_j = \sum_{i=1}^m X_{ij} I_i \quad (2)$$

Em que:

I_j – Valor Informativo da unidade de terreno j ;

m – número de variáveis;

X_{ij} – igual a 1 ou 0, consoante a variável X_i está presente ou ausente na unidade de terreno.

Porém, como já foi referido, este método, apesar de ter uma abordagem estatística objectiva na determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos (Zêzere, 2002), com base na distribuição espacial dos factores de predisposição e na presença ou ausência de movimentos em cada unidade de terreno, não tem em conta as correlações existentes entre essas mesmas variáveis (Marques *et al.*, 2011; Marques *et al.*, 2013). Contudo, segundo van Westen (2001), com a criação de uma nova distribuição das variáveis, consecutiva combinação, ou mesmo exclusão relativamente ao cálculo, torna-se possível suplantar este problema.

5.3 Curva ROC (*Receiver Operating Characteristic*)

Posteriormente à aplicação dos métodos estatísticos é necessário demonstrar a qualidade ou precisão dos modelos, isto é, a validação dos resultados conseguidos. Então, para atingir essa finalidade, na dissertação em curso foi utilizada a curva ROC. A análise da curva ROC é uma abordagem estatística usada muitas vezes para avaliar a qualidade de um modelo preditivo, nas mais variadas áreas (Egan, 1975, Swets, 1988, Williams *et al.*, 1999 in Gorsevski *et al.*, 2006). Na temática envolvendo movimentos de vertente esta curva de validação é também constantemente utilizada. É uma ferramenta preponderante que possibilita avaliar a variação da sensibilidade e especificidade, que dependem de pontos de corte (*cut-off*) entre os resultados positivos e negativos.

Adoptando esta ideia para os movimentos de vertente, estes seriam avaliados pela comparação relativa da Fracção de Verdadeiros Positivos (FVP) (probabilidade de decidir a existência de movimento, quando de facto está presente), pela Fracção dos Falsos Positivos

(FFP) (probabilidade de decidir a inexistência de movimento, quando de facto está presente), pela Fracção dos Verdadeiros Negativos (FVN) (probabilidade de decidir a existência de movimento, quando de facto está ausente) e, por fim, pela Fracção de Falsos Negativos (FFN) (probabilidade de decidir a inexistência de movimento, quando de facto está ausente). A FFP e FFN correspondem às seguintes expressões (Braga, 2003):

$$FFP = \frac{n^{\circ} \text{ de decisões falsas positivas}}{n^{\circ} \text{ de casos realmente negativos}} \quad FFN = \frac{n^{\circ} \text{ de decisões falsas negativas}}{n^{\circ} \text{ de casos realmente positivos}}$$

Como Braga (2003) refere, se se partir do pressuposto que todos os casos podem ser determinados como positivos ou negativos, o número de decisões correctas e incorrectas, deverá ser igual ao número de casos com esse estado actual, ou seja:

$$FVP + FFN = 1 \quad FVN + FFP = 1$$

A representação gráfica da curva ROC baseia-se na marcação dos pares de sensibilidade, ou FVP, nas ordenadas e 1 menos especificidade, ou FFP, nas abcissas, definindo a sensibilidade com a probabilidade, neste caso, de decidir se os movimentos estão presentes quando definitivamente estão presentes, e especificidade como a probabilidade de decidir se os movimentos estão ausentes, quando de facto é isso que se verifica (Figura 5.1). Assim, a análise ROC providencia um diagnóstico que pode ser usado para a distinção de duas classes de eventos, isto é, a capacidade que um teste tem para detectar células de movimentos *versus* a capacidade que um teste tem para excluir as células que não apresentam movimentos. De acrescentar que a curva ROC permite, da mesma forma, a comparação entre dois ou mais testes diagnósticos, constituindo uma das principais vantagens na sua utilização.

A avaliação da curva ROC é efectuada pela Área Abaixo da Curva (AAC) que consiste num dos índices mais utilizados para a qualificação global dos modelos produzidos. Segundo Vasconcelos (2011) a equação que corresponde a AAC é a seguinte:

$$AAC = \sum_{i=1}^n \left[(Lsi - Li) \times \left(\frac{ai+bi}{2} \right) \right] \quad (3)$$

onde:

$(Lsi - Li)$ - Amplitude da classe produzida,

ai - Valor da ordenada correspondente a Li

$Li; bi$ - Valor da ordenada correspondente a Lsi .

O valor obtido pela AAC oscila entre 0 e 1. Guzzetti (2005) indica que um modelo para ser admissível deverá no mínimo possuir 0,75 de AAC. A partir deste mínimo os modelos vão sendo cada vez melhores, sendo os valores acima de 0,90 considerados como excelentes.

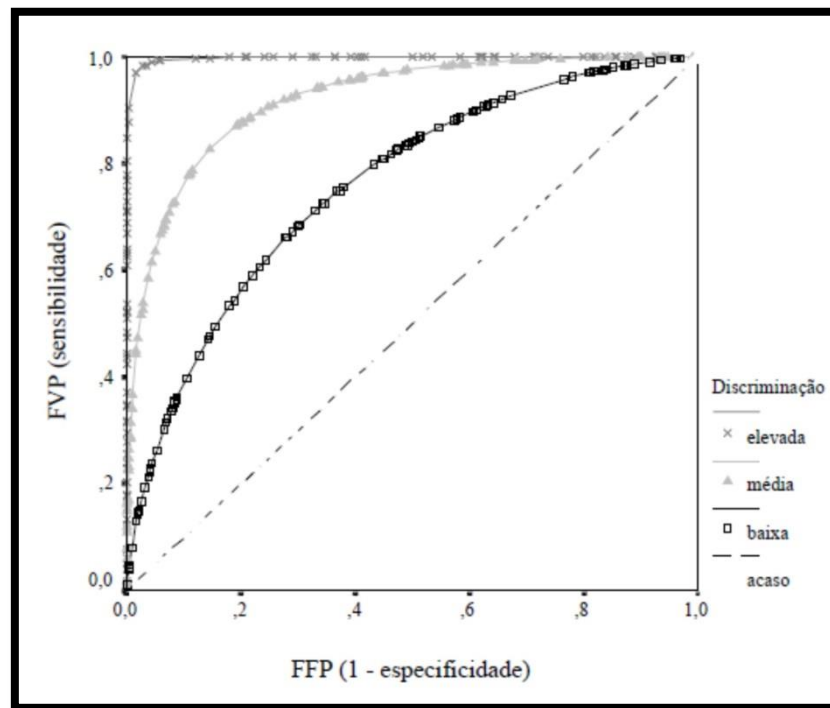


Figura 5.1 – Esquematização gráfica da curva ROC (adaptado de Braga 2003).

6. Metodologias

6.1 Introdução

Tendo em conta os conceitos descritos anteriormente sobre a perigosidade é possível desenvolver uma metodologia para determinar a componente espacial da perigosidade, associada à ocorrência de movimentos de vertente no sector litoral estudado. Para a execução de uma abordagem de base estatística, as condições de terreno têm de corresponder a séries de factores de predisposição, que são estatisticamente correlacionados com a ocorrência de movimentos de vertente, através do uso de métodos estatísticos bivariados ou multivariados (Marques, 2013). Para a concepção duma avaliação da componente espacial da perigosidade ou da susceptibilidade de um sector costeiro ser afectado por rupturas, é necessário ultrapassar uma série de fases que vão desde a elaboração de um inventário de movimentos, aquisição de informação concernente aos factores condicionantes, vectorização e projecção destes em ambiente SIG, definição de unidades de terreno e, por fim, a aplicação do método de base estatística escolhido.

6.2 Princípios da Visão Estereoscópica

As fotografias aéreas proporcionam a vantagem de se poder observar a imagem da superfície em visão tridimensional ou estereoscópica. Um dos efeitos que proporciona esta visão é o efeito de paralaxe. Este efeito baseia-se na observação simultânea de um mesmo objecto por meio de dois ângulos diferentes. O nosso cérebro utiliza esse efeito para que tenhamos a noção de profundidade. No caso das fotografias aéreas o princípio é o mesmo, só que a visão tridimensional é proporcionada por meio de estereoscópicos. Existem dois tipos de estereoscópicos: os de bolso, usados geralmente para áreas mais pequenas da foto, e os estereoscópicos de espelho, que permitem a visão estereoscópica de um conjunto de fotos.

O efeito de paralaxe possibilita, também, a obtenção de medidas de altura a partir de fotografias aéreas através da seguinte expressão:

$$H = \frac{\Delta p \times Av}{Pc + \Delta p} \quad (4)$$

Em que:

H - Altura do objecto;

Δp - Diferenças da distância entre o topo e base do objecto nas duas fotos (em mm):

Pc - Distância entre o ponto central das fotos;

Av - Altura do voo.

6.3 Inventariação de Movimentos em arribas por fotointerpretação

Os inventários multi-temporais consistem na forma mais avançada de elaborar inventários de movimentos, permitindo observar a localização e o tipo de ocorrências numa determinada área, o que possibilita retratar a evolução no tempo e no espaço (Guzzetti, 2005). A elaboração de um inventário de movimentos é baseada em várias técnicas tais como, a interpretação de fotografia aérea, pesquisa de campo e obtenção de uma base de dados de movimentos que ocorreram numa determinada área (Soeters e van Westen, 1996). Todavia, a interpretação por observação estereoscópica de fotografias aéreas é, ainda, o método mais utilizado para o reconhecimento e interpretação de movimentos de vertente, apesar da existência de tecnologias muito mais recentes. Segundo Guzzetti (2005), para a identificação de movimentos de vertente este método permite:

- Observação de mudanças morfológicas subtis, devido à sobreelevação vertical introduzida pela visão estereoscópica.
- Definição de unidades geológicas, figuras geomorfológicas e estruturas tectónicas.
- Demarcação das linhas de água e das bacias hidrográficas.
- Avaliação da cobertura vegetal presente.
- Cobrir territórios extensos, devido ao tamanho das fotografias (21 cm×21 cm) e às escalas usadas (1:5000 a 1:70000).

- Marcação de movimentos em estereoscopia de fotos em formato digital, permitindo a sua integração e armazenamento em sistemas informáticos.

- Avaliação e investigação da evolução temporal e geográfica de movimentos de vertente, utilizando conjuntos de fotografias aéreas de diferentes datas da mesma área.

Contudo, as técnicas de fotointerpretação dependem muito da experiência do operador, da metodologia e dos critérios usados e da consequente confirmação no terreno (van Zuidam, 1985; Marques, 1997; Antonini *et al.*, 2002a, 2002b e Guzzetti, 2005). Por vezes, os factores naturais inerentes, como por exemplo as condições meteorológicas em que foram obtidas as fotografias aéreas, não contribuem conjuntamente para a melhor compreensão e interpretação no uso deste método.

Para o estudo dos movimentos de vertente das arribas neste sector litoral, foram usados conjuntos de fotografias aéreas da Royal Air Force de 1947 (RAF 1947), United States Air Force de 1958 (USAF 1958), Força Aérea Portuguesa de 1980 (FAP 1980) e Município de 2010 (Tabela 6.1). Destes conjuntos, e segundo o Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), apenas o voo da RAF 1947 não se encontrava completo, falhando a cobertura do troço de 2,5 km entre a Praia de Cambelas e Praia da Assenta. Todavia, por outro motivo, o voo da FAP 1980 apresentava uma secção de 3 km, entre a Praia de Santa Rita e Praia da Vigia, em más condições para estereoscopia, tendo sido, por isso, descartado. Para apoiar a fotointerpretação realizada, também foi utilizada a informação do inventário, não publicado, realizado por Marques (1991), para o período compreendido entre 1947 e 1991. O objectivo desta inventariação foi uma análise multi-temporal, por meio da comparação da linha de crista, entre 1947 e 2010 (63 anos), possibilitando a marcação de áreas que estiveram em actividade no período estudado. Este inventário, depois de devidamente datado, foi fraccionado em duas partes. Uma porção ficou com a informação dos movimentos de 1947 a 1980 (33 anos) e outra com os movimentos de 1980 a 2010 (30 anos). A intenção principal desta separação foi conseguir testar a capacidade preditiva dos modelos gerados, com base nos movimentos do primeiro período, por validação com os movimentos inventariados no segundo período, como também verificar se a ocorrência dos movimentos sofreu alterações ao longo do intervalo de tempo analisado.

Tabela 6.1 – Voos utilizados para a execução do inventário de vertente.

Ano	Escala	Origem	Entidade Pertencente	Modelo de cor
1947	1:30000	Royal Air Force	Instituto Geográfico do Exército	Escala de cinzentos
1958	1:26000	United States Air Force	Instituto Geográfico do Exército	Escala de cinzentos
1980	1:15000	Força Aérea Portuguesa	Força Aérea Portuguesa	Escala de cinzentos
2010	0.30m (pixel)	Municipia, E.M., S.A.	Municipia, E.M., S.A.	RGB

Depois de identificados os movimentos, procedeu-se à sua vectorização no programa *ArcMap 10* (ESRI), sobre uma base topográfica deste sector litoral pertencente ao Instituto da Água I.P. (INAG), com equidistância natural de 2 m. É preciso referenciar, igualmente, que a identificação dos movimentos e cartografia da área perdida, ao nível da crista das arribas dependeu da escala e qualidade das fotos aérea, e do detalhe da base topográfica utilizada.

Na elaboração do inventário existiram algumas dificuldades na marcação de recuos entre as fotos aéreas verticais mais antigas (RAF 1947, USAF 1958 e FAP 1980) e as mais recentes (Municipia 2000). Essas dificuldades advieram, principalmente, do facto da faixa costeira de Santa Cruz e proximidades ter tido um forte incremento das áreas construídas, que dificultaram a realização da fotointerpretação comparada (Figura 6.1).



Figura 6.1 - Série de secções das fotografias aéreas utilizadas para a o inventário, para a área de Santa Cruz. A- Voo RAF 1947; B – Voo USAF 1958; C- Voo FAP 1980; D- Voo Municipia 2010.

Nas fotografias mais antigas de 1947 e 1958 a qualidade é aceitável mas, por vezes, o contraste é muito elevado, o que afectou negativamente o pormenor da fotointerpretação. Existem também troços de arribas que sofreram intervenções antrópicas (Figura 6.2) que causaram a sua artificialização, reperfilamento com recuo das cristas ou fachadas e colocação de aterros em desníveis do talude para prolongar o passeio junto à estrada regional (por exemplo a 1 km a Norte do penedo do Guincho). Nestas zonas optou-se por assinalar movimentos que ocorreram após a edificação destas estruturas.



Figura 6.2 - Exemplos de ocupação de estruturas antrópicas no sector Litoral de Torres. Estrada de acesso a praia junto à Praia da Amoreira (A); Estrada de alcatrão com acesso à Praia de Santa Cruz com edifício construído no talude (B).

Ao todo, entre 1947 e 2010, foram inventariados 111 movimentos que provocaram recuo da crista das arribas e 16 movimentos na fachada exposta. Os movimentos inventariados ficaram distribuídos da seguinte forma: 6 movimentos entre 1947 e 1958, 43 movimentos entre 1958 e 1980 e 62 movimentos entre 1980 e 2010. Os movimentos detectados no talude foram assinalados com alguma imprecisão, em termos de área, já que não estava presente qualquer referência física. Foram, identicamente, determinados movimentos (11 no total) que ocorreram em zonas de intervenção na face da arriba e que, possivelmente, terão influenciado a estabilidade da mesma.

6.4 Definição da Linha de Crista, de Sopé e Unidades de Terreno

As linhas de crista e de sopé foram digitalizadas por interpretação do levantamento aerofotogramétrico do INAG, na escala 1:2000, com data nominal de 2001, com apoio de ortofotomapas e fotografias aéreas oblíquas (Figura 6.3). Foram consideradas como arriba as áreas que apresentavam um declive superior a 30° e altura superior a 6 m. A delimitação da crista tomou como base o contorno das curvas de nível, onde estavam presentes estruturas antrópicas, que foram excluídos dos troços de arribas considerados neste estudo. Para a marcação do sopé, em zonas onde existia aglomeração de detritos de pequena dimensão, recuou-se a linha de sopé para o interior, uma vez que estes detritos serão rapidamente mobilizados pela acção da ondulação.

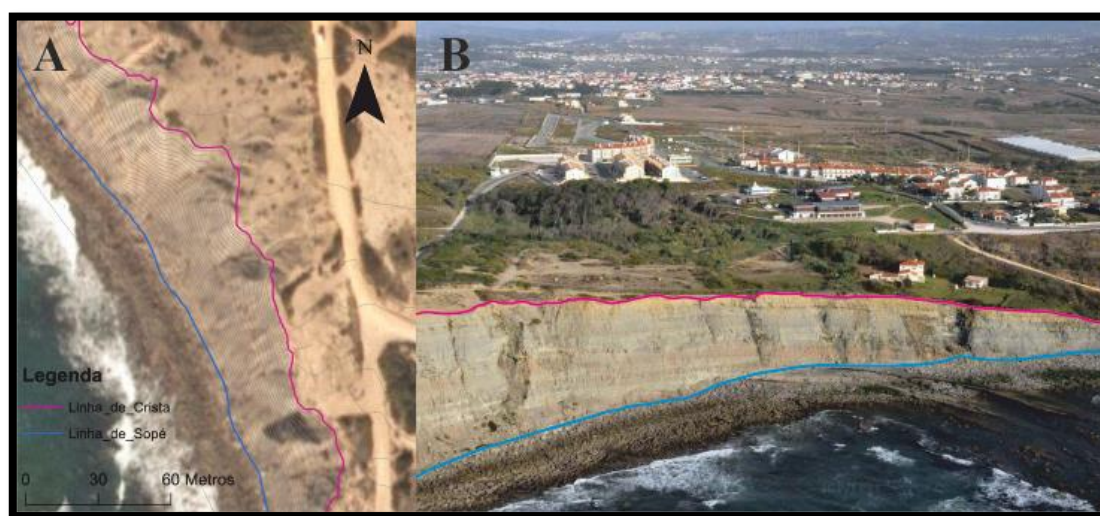


Figura 6.3 - Linhas de Crista e Sopé delineadas em ambiente GIS (A) e exemplo da sua identificação no terreno (norte da Praia Azul) (B)

Para a criação das unidades de terreno foram traçados polígonos, tendo em conta a linha de crista anteriormente desenhada e recorrendo a *station points* (gerados com recurso à ferramenta *ETGeowizard*) com diferentes espaçamentos. Foram, então, construídas unidades de terreno, correspondentes a comprimentos de crista de arriba de 10 m, 20 m, e 40 m, que acomodaram a informação para a aplicação dos modelos de base estatística (Marques et al., 2011, 2013). Os limites laterais das unidades de terreno foram traçados sempre da crista para a base e o mais perpendiculares possível às curvas de nível (Figura 6.4). As diferentes dimensões escolhidas para as unidades de terreno tiveram como finalidade ensaiar qual era a sua influência nos resultados dos modelos de susceptibilidade

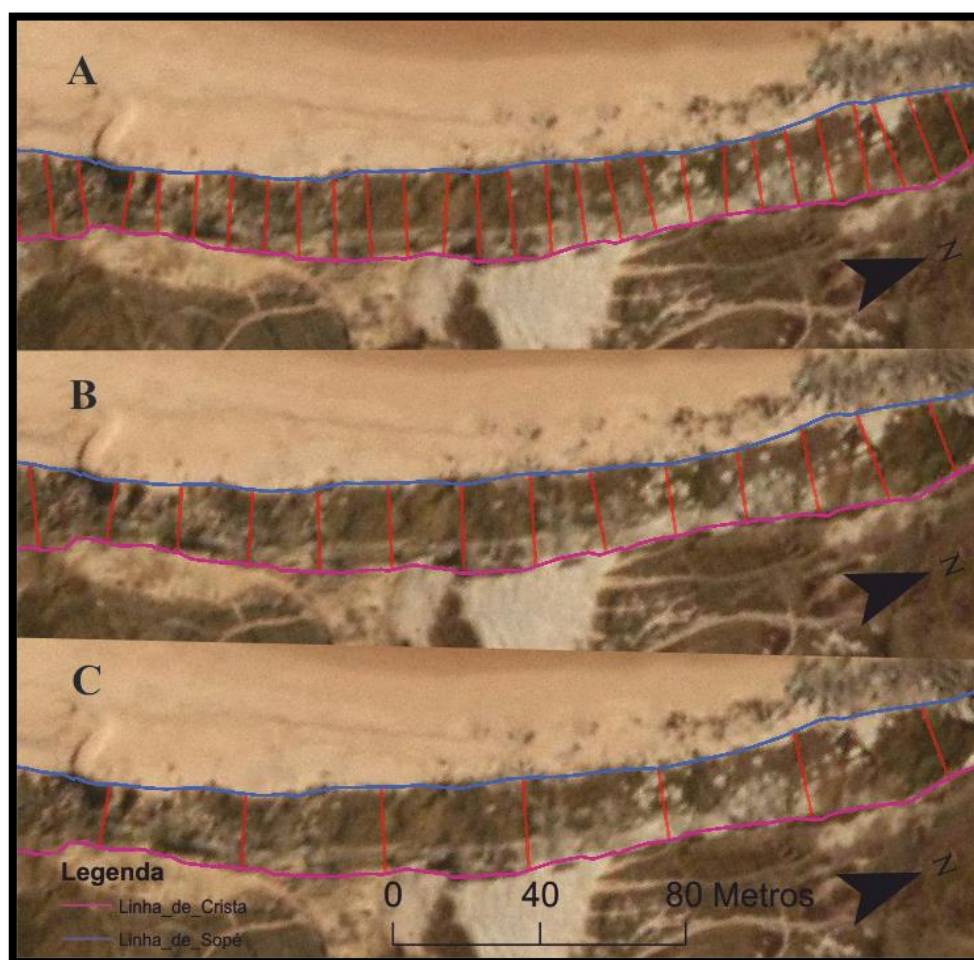


Figura 6.4 – Pequena secção costeira com as diferentes unidades de terreno criadas. A- Unidades de terreno de 10 m; B - Unidades de terreno de 20 m; C - Unidades de terreno de 40 m.

6.5 Factores de Predisposição e seu Processamento

6.5.1 Considerações Gerais

Como já foi referido anteriormente os factores que preparam a ocorrência dos movimentos designam-se por factores condicionantes, enquanto os factores susceptíveis de cartografia à escala regional e que se relacionam com a ocorrência de instabilidades nas arribas são designados de factores de predisposição. Neste subcapítulo são referidas as operações de processamento de informação e são debatidos aspectos gerais sobre os factores em questão. O tratamento realizado visou a preparação e desenvolvimento de factores predisposição para o uso posterior na cartografia de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente. Inicialmente produziu-se um MDT tendo como base a topografia do INAG, na escala 1:2000 (Figura 6.5).

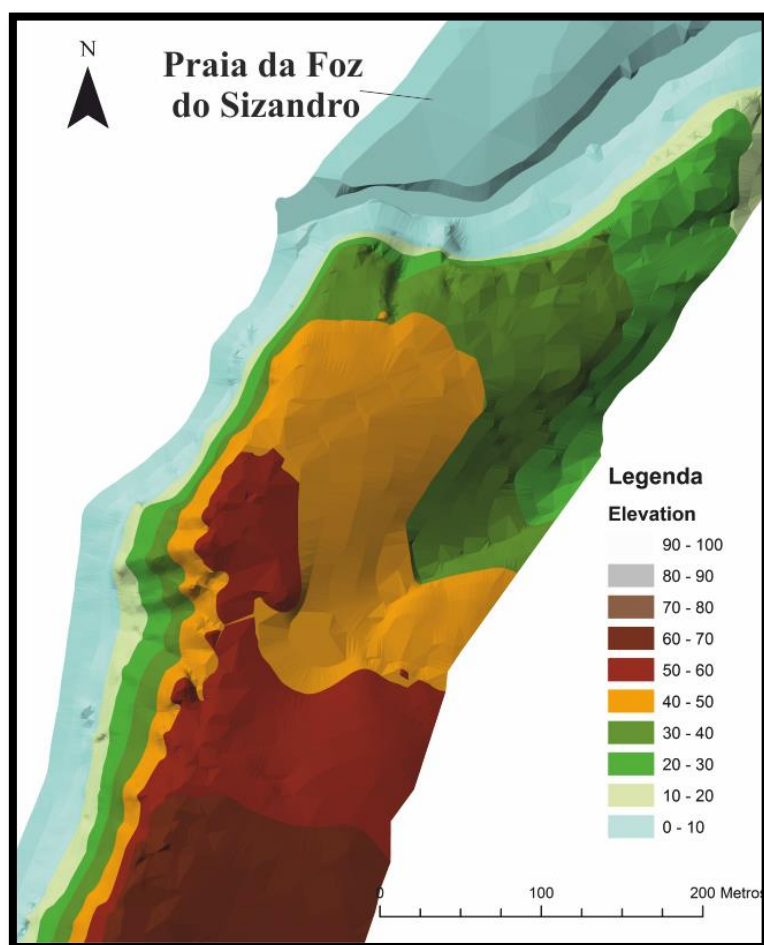


Figura 6.5 – Aspecto do modelo TIN numa secção do sector litoral junto à Praia da Foz do Sizandro.

6.5.1.1 Factores de Predisposição utilizados

Foi extraída informação de 14 factores de predisposição (numéricos e categóricos) para este troço litoral, cuja cartografia de pormenor é compatível com a escala regional do estudo. Os factores numéricos foram calculados por processamento do MDT com 1 m² de área de pixel, e incluíram: a altura máxima (*maximum*), o declive médio (*mean*) e máximo, a direcção de fluxo média e máxima e a exposição dominante (*majority*). A curvatura em planta média foi calculada num MDT derivado do anterior, mas com pixel de 2x2m, de forma a remover os efeitos de curvaturas locais muito elevadas mas que não representavam a curvatura geral de cada unidade de terreno. Por sua vez, os factores categóricos estabelecidos para o troço estudado foram: a litologia, a estrutura, as falhas, as protecções do sopé, a presença de exsurgências e de sapas e potência média anual das ondas.

6.5.1.1.1 Altura

A altura das vertentes é susceptível de ter papel condicionante na dimensão máxima dos movimentos que possam ocorrer numa encosta ou escarpa. Na área de estudo, os movimentos abrangem com frequência a totalidade da fachada até em arribas de alturas mais baixas, onde há predomínio de erosão marinha de sopé. A área de deposição dos solos e rochas instabilizados junto ao sopé é também susceptível de ser condicionada pela altura da arriba (Figura 6.6).

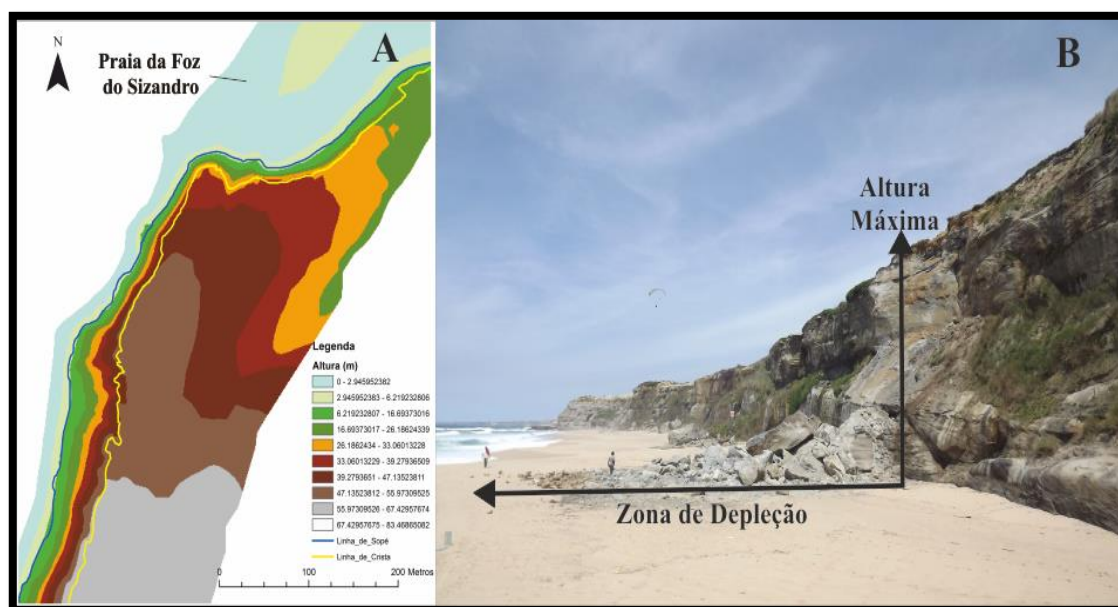


Figura 6.6 - Aspecto do *raster* obtido para a altura da secção costeira apontada na figura anterior (A). Movimento junto à Praia da Mexilhoeira onde a altura máxima é inferior ao comprimento da zona de acumulação de blocos movimentados.

6.5.1.1.2 Declive

Um dos parâmetros mais importantes na estabilidade de vertentes é o declive (Lee e Min, 2001), uma vez que possui grande influência nas tensões tangenciais presentes. Este parâmetro pode ser definido como o ângulo entre a horizontal e a superfície topográfica da vertente. Através do MDT pode-se obter um *raster* com o valor da inclinação, para cada pixel (Figura 6.7). Todavia, segundo By *et al.* (2001), através de um *raster* altimétrico não se pode “ler” a inclinação do declive e a orientação da face da vertente directamente. No entanto, esta informação pode ser adquirida através do valor altimétrico de cada célula.

O declive é, assim, calculado como a taxa de variação máxima (na horizontal e vertical) de valores entre cada célula e as suas vizinhas, ou seja, a máxima variação da elevação sobre a distância, entre a célula e as 8 células vizinhas, indica a maior diferença altimétrica. O valor

calculado é representado por dois tipos de unidades, graus ($^{\circ}$) ou percentagem (%). Portanto, quanto maior o valor da inclinação mais íngreme é o terreno e quanto mais baixo, mais plano o terreno é.

Com a taxa de variação da superfície na horizontal $\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)$ e na vertical $\left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)$ as expressões usadas pelo *ArcMap* para cálculo do declive θ são as seguintes:

$$\theta(rad.) = arctan \left[\sqrt{\left(\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2\right)} \right] \quad (5)$$

$$\theta(^{\circ}) = arctan \left[\sqrt{\left(\left(\frac{\delta z}{\delta x}\right)^2 + \left(\frac{\delta z}{\delta y}\right)^2\right)} \right] \times \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

Constatou-se, para a área em estudo, que o declive gerado e convertido em formato matricial comporta-se melhor em áreas onde a linha de crista apresenta um aspecto mais contínuo e regular. Em extensões de arriba onde o perfil é muito irregular é necessário, também, ter em consideração as curvas de nível, para uma melhor compreensão da morfologia do topo.

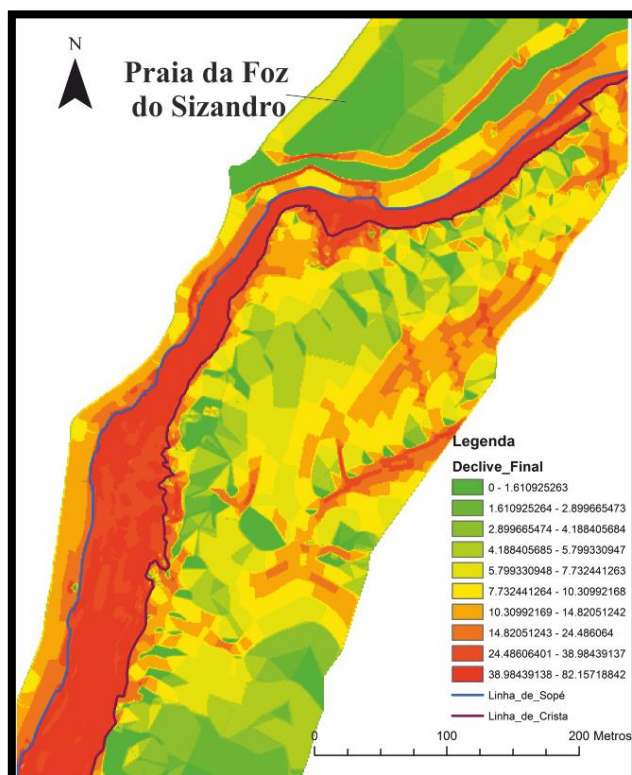


Figura 6.7 - MDT do declive junto à Praia da Foz do Sizandro.

6.5.1.1.3 Exposição (*Aspect*)

A exposição representa a orientação de uma determinada vertente, isto é, a direcção angular para qual o talude está voltado. Neste caso, corresponde à direcção do declive de uma célula em relação às vizinhas. Uma simples aproximação pode ser feita por meio dos gradientes x e y . O gradiente x determina a taxa de variação de Este para Oeste, desde o centro da célula, enquanto que o gradiente y funciona de forma análoga mas na direcção Sul – Norte (Figura 6.8).

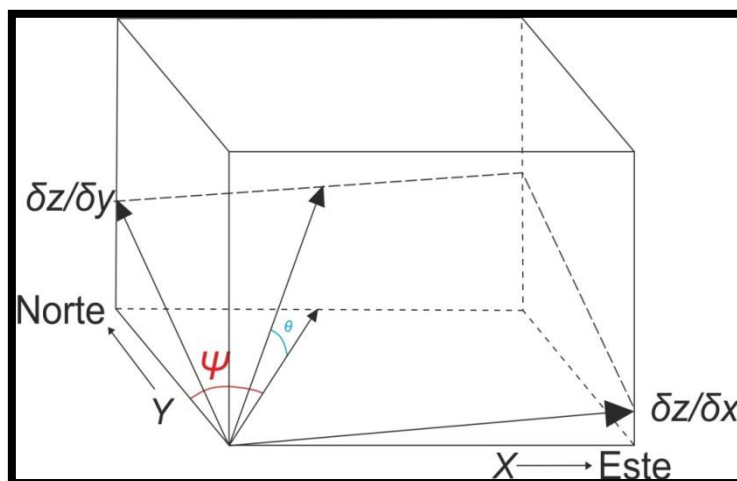


Figura 6.8 - Inclinação do declive θ , e direcção da vertente Ψ (By et al., 2001).

Os valores de *output* foram dados em direcções angulares para os diferentes quadrantes, que variam entre 0° e 360° (Figura 6.9 e Figura 6.10). Zonas aplanadas não têm direcção (0° de declive), portanto é-lhes atribuído o valor -1.

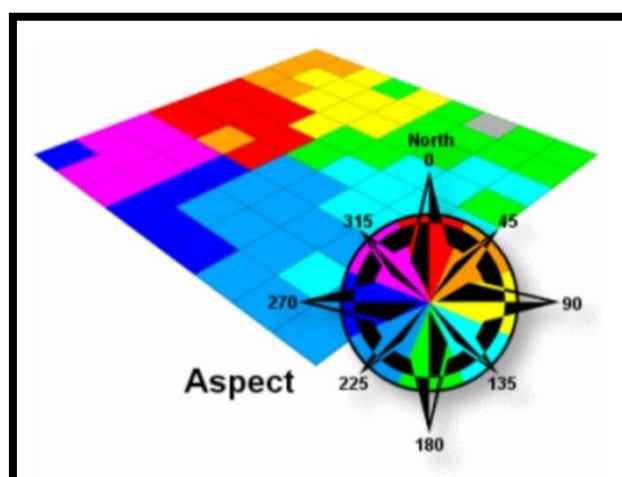


Figura 6.9 - Função exposição e as cores de output conforme a orientação da vertente.

A orientação da face da vertente é calculada através da seguinte expressão:

$$\tan(\psi) = \frac{\delta z / \delta x}{\delta z / \delta y} \quad (7)$$

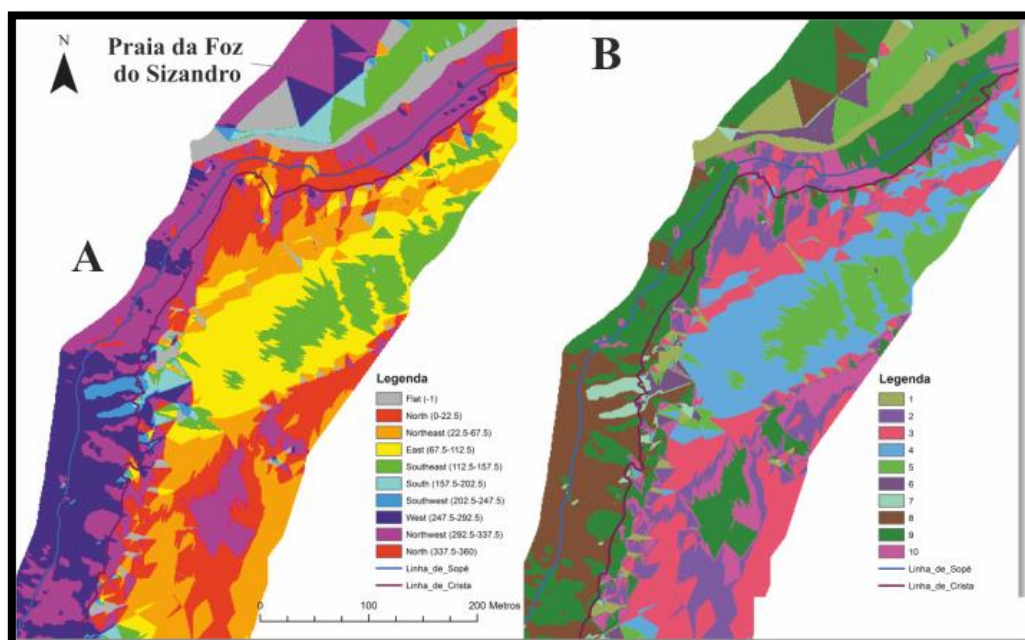


Figura 6.10 - Aspecto do MDT da exposição com os outputs para cada direcção (A), e aparência posterior à sua reclassificação (B).

6.5.1.1.4 Direcção de Fluxo (Flow Direction)

A hidrodinâmica de superfície é um dos aspectos importantes na ocorrência de movimentos de vertente. O objectivo na replicação deste MDT é avaliar o modo como o escoamento superficial da água se comporta em função do relevo. (Figura 6.11).

A direcção de fluxo é obtida através da análise da variação de cada célula para a sua vizinha, de acordo com a diferença de altura e distância entre elas (Figura 6.12 A). A distância entre uma célula arbitrária para as células vizinhas é de 1 m nas direcções N-S e W-E, e $\sqrt{2}$ para as direcções NE-SW e NW-SE. Entre as 8 células vizinhas é escolhida aquela que apresenta a cota maior (Figura 6.12 B). Sucessivamente, o *output* gerado, contém oito direcções válidas, relacionadas com as 8 células nas quais o fluxo se propaga. É comumente referido como modelo de direcção de fluxo de 8 direcções (D8) (Jenson e Domingue, 1988).

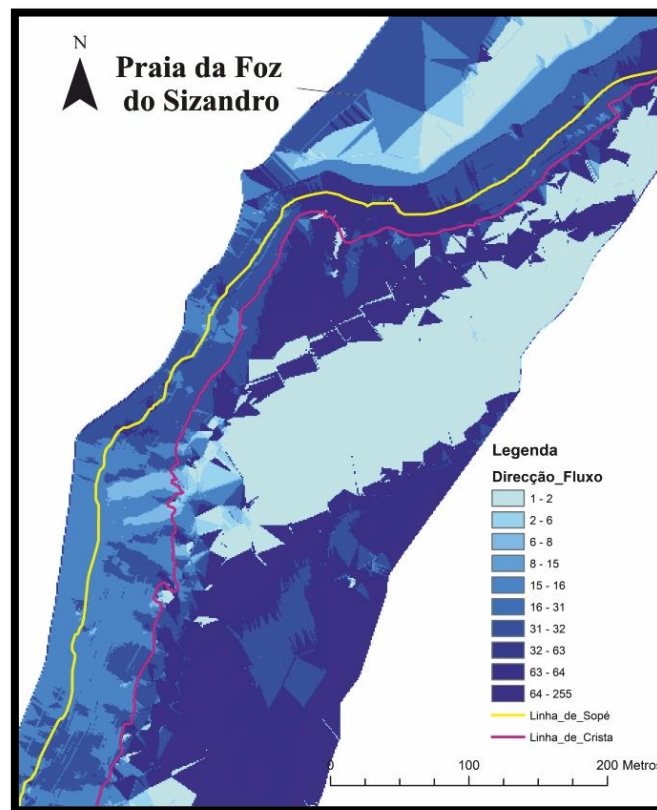


Figura 6.11 - MDT da direcção de fluxo para a mesma secção da figura 7.10.

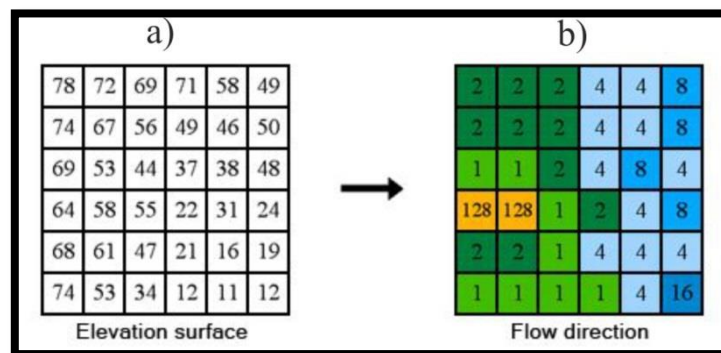


Figura 6.12 - Modelo matricial inicialmente com valores de elevação (a) e *output* com valores da direcção de fluxo (b) (adaptado de *How Flow Direction works, Arcgis 10 help*).

A direcção de fluxo é obtida no *ArcMap 10* mediante a seguinte expressão:

$$Altura\ Máxima = \frac{\Delta z}{d} \times 100 \quad (8)$$

Em que:

Δz – Diferença entre cotas das células

d – distância entre as células (ponderada)

6.5.1.1.5 Curvatura

A geometria da face da arriba, ou de vertentes em geral, pode ter influência na ocorrência dos movimentos de vertente. A curvatura dá a percepção da concavidade e convexidade da fachada da arriba. A curvatura em perfil afecta a aceleração e desaceleração do fluxo de água, enquanto que a curvatura em planta influencia a convergência e divergência do fluxo, o conteúdo solo-água e outras características de solo (Wilson e Gallant, 2000). Para obtenção da curvatura de cada célula é utilizado o seguinte polinómio de quarta ordem:

$$Z = Ax^2y^2 + Bx^2y + Cxy^2 + Dx^2 + Ey^2 + Fxy + Gx + Hy + I \quad (9)$$

Esta expressão é apropriada para uma superfície quadrática composta por uma submatriz 3x3. As correlações entre os coeficientes (A e I) e os nove valores de elevação ($Z1$ e $Z9$) são calculados através desta superfície (Figura 6.13).

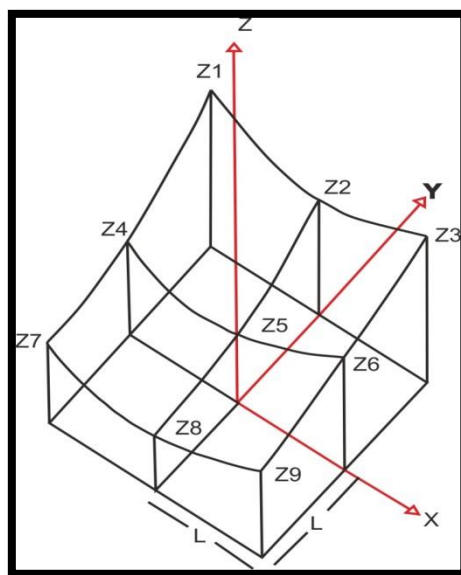


Figura 6.13 - Matriz tridimensional 3x3 usada para a curvatura em perfil (adaptado de Zevenbergen e Thorne, 1987).

Conforme Zevenbergen e Thorne (1987) unidades de curvatura são expressas em graus por cem unidades de comprimento ($1/100LU$), em que L é a distância entre o centro de cada célula matricial nas direcções x e y . Se a superfície dada pela matriz de nove valores de elevação é de ordem inferior à expressão 9, os coeficientes atribuídos vão ser iguais a zero e não afectarão a equação.

Para obter-se a curvatura em perfil basta calcular a segunda derivada da função altimétrica, segundo a distância de máxima inclinação:

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial^2 S} = -2 \left[\frac{(DG^2 + EH^2 + FGH)}{(G^2 + H^2)} \right] \times 100 \quad (10)$$

Para a análise de resultados os valores positivos indicam uma superfície convexa e os negativos uma superfície côncava. Para valores iguais a 0 a superfície é plana.

Partindo deste modelo, ou seja, da segunda derivada (expressão 10), a curvatura em planta relaciona uma normal à linha máxima de inclinação. Os valores positivos indicam características convergentes, os nulos as superfícies lineares e os negativos as superfícies divergentes (Figura 6.14). A expressão utilizada para determinar a Curva em Planta é a seguinte:

$$CP = 2 \left[\frac{(DH^2 + EG^2 + FGH)}{(G^2 + H^2)} \right] \times 100 \quad (11)$$

Para área de estudo a curvatura em perfil não foi utilizada como factor integrante para a análise de susceptibilidade. A caracterização efectuada por este factor e para este tipo de morfologias não é a mais indicada, visto que, na mesma vertente, podem coexistir perfis côncavos, planos e convexos, organizados de diferentes formas, não sendo pois susceptíveis de obtenção automática a partir do MDT, em especial quando a arriba é quase vertical, em que as variações do perfil não são representadas de forma adequada pelos MDTs. Um outro problema está relacionado com a dimensão do pixel. Em arribas verticais o mesmo pixel, por exemplo junto a linha de crista, pode conter a informação do topo como da zona da base, pelo que o valor da curvatura do perfil resultante não é representativo do perfil real da arriba.

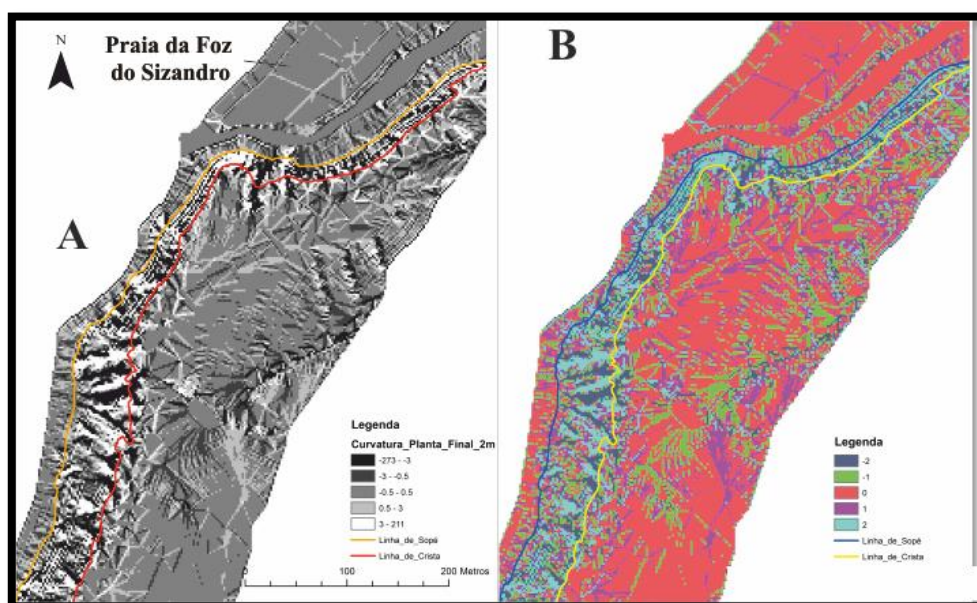


Figura 6.14 - Exemplo do aspecto da curvatura em planta adquirida para a área estudada.

6.5.1.1.6 Litologia

A litologia, é provavelmente o factor mais importante na determinação da susceptibilidade à ocorrência de movimentos, pois reflecte a resistência dos maciços rochosos ou terrosos que constituem as arribas (Marques, *et al.*, 2011, 2013; Penacho, 2012, e Queiroz, 2012). Para a definição da geologia foram utilizadas fotografias oblíquas aéreas e foi feita uma cartografia de campo nas zonas do troço onde as arribas eram acessíveis. A parte Sul do deste sector, desde Praia Azul até a Praia de Porto Barril, possuía zonas inacessíveis, com praias situadas na zona entre marés, tornando difícil e perigoso o seu acesso. A classificação da litologia baseou-se na abundância das camadas presentes. O primeiro nome de cada unidade corresponde à litologia mais abundante na face da arriba. A cartografia digital da Formação de Dagorda e da Formação de Almargem para o interior, em Santa Cruz, é puramente especulativa devido à intensa ocupação urbana que se verifica nessa área. Nessa zona, optou-se por seguir fielmente os limites, para estas formações, representados na Carta Geológica 30-A.

6.5.1.1.7 Estrutura

A estrutura compreende a orientação e inclinação que as unidades geológicas apresentam a nível regional. Consoante a orientação e inclinação do plano da face da arriba, podem-se definir zonas mais susceptíveis à ocorrência de movimentos. Por exemplo, quando a direcção da inclinação é similar à direcção de exposição da arriba, há maior possibilidade de ocorrência de

movimentos, nomeadamente movimentos planares. A estrutura do material sedimentar, que aflora em todo este sector litoral, foi dividida em cinco tipos diferentes: a favor do declive, quando a estrutura apresenta a direcção de inclinação idêntica à direcção do declive da arriba, contra o declive, quando a estrutura tem a uma direcção oposta ao declive da arriba, paralelo ao declive, quando a direcção das unidades for 90 ou 270° desfasada da direcção do declive e variável quando a estrutura das unidades apresenta múltiplas direcções disseminadas em toda a sua extensão, como acontece para a Formação da Dagorda (Figura 6.). Nesta região é facilmente observável que a estrutura mostra um pendor distinto quando a localização é em torno do diapiro, como sucede na Praia da Amoreira, na Praia Formosa e na Praia do Penedo do Guincho.



Figura 6.15 – Aspecto de alguns tipos de estrutura aflorantes no troço estudado. A – Estrutura inclinada para Sudoeste a favor do declive junto à Praia de Cambelas, pertencente à Formação do Freixial; B – Estrutura inclinada para Sudeste contra do declive da Formação da Almargem entre a Praia do Navio e da Vigia. C – Estrutura com pendor para Sudoeste relativa à Formação da Abadia, próximo da Praia de Santa Cruz. D – Estrutura horizontal correspondente à Formação do Bombarral junto à Praia da Mexilhoeira.

6.5.1.1.8 Falhas

As características das discontinuidades como a sua continuidade, abertura, inclinação, tipo de preenchimento e a rugosidade, influenciam a estabilidade de um maciço rochoso (Duncan, 1996). pelo que falhas, fissuras e estratificação corresponde a zonas de baixa resistência dos

maciços, e, em consequência, condicionamento importante para a ocorrência de instabilidades. As falhas neste troço foram cartografadas principalmente por fotografia oblíqua e cartografia de campo, apoiada igualmente pelas folhas das Cartas Geológicas 30-A, Lourinhã e 30-C de Torres Vedras. Por vezes, as arribas pertencentes à formação do Freixial contêm muitos depósitos de vertente, o que dificultou a detecção de possíveis falhas. Outro problema encontrado esteve relacionado com as alternâncias cíclicas de camadas de pequena espessura, dificultam a detecção de pequenos rejeitos.

6.5.1.1.9 Protecção Sopé

A protecção do sopé está intimamente relacionada com a resistência que o material, que se encontra na base da arriba, oferece às forças erosivas. Para este troço litoral foram identificadas as protecções naturais do sopé, bem como as artificiais. Foram diferenciados no total nove tipos diferentes de protecção: blocos, plataforma, plataforma com blocos, praia, praia com blocos, praia com detritos de movimentos, praia com estruturas antrópicas, praia com plataforma e praia e dunas (Figura 6.16). A Sul do troço estudado, entre Praia de Porto Barril e Praia da Foz, há predominância de blocos no sopé, por vezes associados a plataformas de abrasão e a praias encastradas. Já a zona Norte entre a Praia da Foz e Praia Sul de Valmitão, há dominância de praias desenvolvidas, de largura considerável, o que diminui a energia libertada pela ondulação sobre as arribas em comparação com a metade a Sul.



Figura 6.16 - Alguns tipos de protecção do sopé existentes no sector costeiro de Torres Vedras. A – Plataforma na Praia de Cambelas; B - Praia e Blocos junto à Praia das Peças; C – Blocos de grande dimensão próximo da Praia de Porto Novo; D – Praia de grande extensão a Sul da Praia da Vigia.

6.5.1.1.10 Exsurgências

A água em domínio terrestre exerce uma enorme influência, em termos de modelação geomorfológica, quer em zonas mais interiores, quer junto ao litoral. A abundância de linhas de água, exsurgências e zonas de encaminhamento de água, influencia grandemente a estabilidade dos taludes. Na área Norte do troço estudado, mais concretamente na Praia da Mexilhoeira, algumas destas linhas de água e fluxos ininterruptos podem estar relacionados com intersecção com um aquífero superficial, na medida em que são conhecidas captações na Formação do Bombarral, como também nas dunas Holocénicas de Santa Cruz (Figura 6.17 A e C). Igualmente, na Praia da Mexilhoeira e na Praia do Seixo, a incisão de linhas de água, devido a erosão diferencial, acaba por criar cavidades no contacto entre as camadas de arenitos e argilas aumentando a instabilidade geral da arriba. Um pouco mais a Sul, na Praia da Vigia, numa área razoavelmente urbanizada, existe uma zona de encaminhamento de águas para a praia que é vulgarmente frequentada por banhistas. Esta área necessita de monitorização constante, pois despoletou no passado um movimento de dimensão considerável. Em alguns casos foram encontradas camadas “produtivas” de arenitos, que se estendiam alguns metros na lateral, até

desaparecerem na superfície topográfica (Figura 6.17 B). Igualmente, notou-se que as áreas junto ao topo de arriba, que se encontram ocupadas por terrenos cultivados, apresentam quase sempre exsurgências, devido a infiltração de água que possivelmente advêm da rega desses mesmos terrenos (caso da zona Norte da Praia Azul e a Norte da Praia das Peças (Norte de Carrascais) e a Este do troço entre Praia da vigia e Praia da Mexilhoeira). A informação colhida ao longo deste litoral de Torres Vedras, referente as exsurgências, foi representada através de pontos no *ArcMap 10*.



Figura 6.17 – Exemplos de exsurgências na área de estudo. A – Exsurgência nas arribas da Praia da Mexilhoeira; B – Exsurgências em camada produtiva a Norte da Praia de Porto Barril; C – Circulação de água e exsurgências junto à Praia da Mexilhoeira.

6.5.1.1.11 Sapas

O termo sapa é definido como uma subescavação no sopé, esculpida por meio da erosão provocada pela ondulação (Figura 6.18). No troço costeiro em questão existem cerca de 36 sapas cartografadas distribuídas por todo o tipo de materiais. São particularmente frequentes nas unidades pertencentes à formação do Freixial, pois trata-se de uma formação onde existe alternância entre rochas mais resistentes e rochas mais brandas. O sopé da arriba, que evolui para um entalhe deste tipo, tende a ficar sem apoio, o que provoca o colapso das secções deixadas em consola.



Figura 6.18- Exemplo de sapas na Praia das Peças (A) e a Norte da Praia de Porto Barril (B).

6.5.1.1.12 Potência Média

A ondulação tem um papel importante na modelação das arribas litorais (Sunamura, 1992). Actua, essencialmente, na base da arriba e pode facilmente erodir o material que compõe o sopé, desestabilizando e induzindo a ruptura no material subjacente. Foram empregados dados relativos à potência média de todas as ondas ao largo entre 1953 e 2008, adquiridos de 6h em 6h e de 500 m em 500 m, na batimétrica dos 10m (Figura 6.19).

No troço estudado é visível que a potência da ondulação é maior a Sul. Faz algum sentido, uma vez que nesta área não existem praias desenvolvidas que dissipem a energia das ondas (à excepção de Cambelas), o que acaba por culminar num avanço da zona de rebentação em direcção a terra.

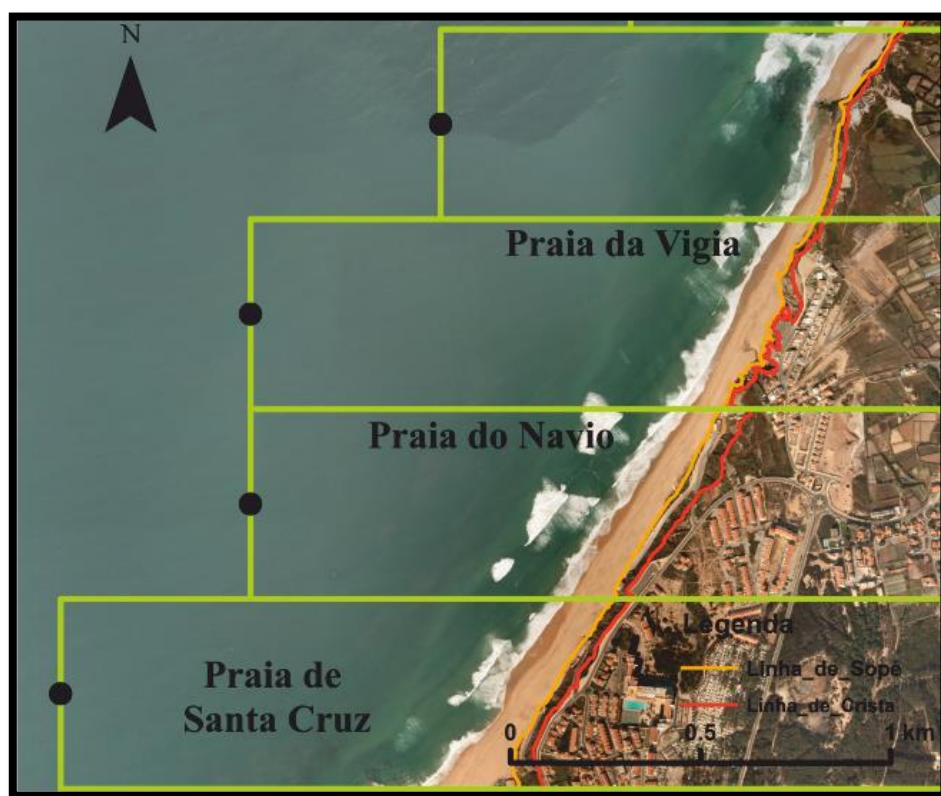


Figura 6.19 - Secção entre a Praia de Santa Cruz e Norte da Praia da Vigia com os respectivos pontos com informação sobre a potência média da ondulação para a batimétrica dos 10m, posteriormente projectados, através de polígonos, para Oeste com o propósito de intersectar a face da arriba.

7. Análise de Susceptibilidade

7.1 Apresentação e Discussão de Resultados

7.1.1 Considerações Gerais

A susceptibilidade à ocorrência de movimentos a probabilidade de ocorrência de uma instabilidade em vertente, escarpa ou arriba, num dado local, sem implicações de ocorrência temporal ou de período de retorno, nem de magnitude, e que, numa abordagem estatística, depende de um conjunto de factores de predisposição. Para que se possa avaliar a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente é necessário correlacionar os factores de predisposição (subcapítulo Processamento) e os movimentos de vertente inventariados na área estudada, para obter relações estatísticas que permitam a construção de um modelo de susceptibilidade. A análise estatística foi efectuada recorrendo a unidades de terreno, definidas de forma a que cada unidade correspondesse a um domínio homogéneo em termos da ocorrência de instabilidades e de cada um dos factores considerados. Neste trabalho efectuou-se a análise estatística utilizando unidades de terreno que abrangiam comprimentos de crista de arriba de 10m, 20m e de 40m, com o objectivo de avaliar qual a dimensão de unidade de terreno mais favorável para a geração de um modelo de susceptibilidade mais robusto. Foi elaborado um inventário de movimentos ocorridos nas arribas entre 1947 e 2010 (63 anos) (inventário principal) que foi objecto de uma partição temporal, da qual resultaram dois inventários com movimentos entre 1947 e 1980 (33 anos) e 1980 e 2010 (30 anos) respectivamente, com o propósito de analisar a capacidade preditiva, dos modelos de susceptibilidade. O Valor Informativo calculado para as unidades de 10 m, 20 m e 40 m no intervalo temporal de 1947 a 1980 e 1947 a 2010, foi posteriormente validado por meio da curva ROC. Nesta situação, foi escolhido o modelo de susceptibilidade que se apresentou uma maior AAC (que, quanto maior for, melhor será o modelo de susceptibilidade). Do mesmo modo, foi executada a avaliação da capacidade preditiva do inventário de 1947 a 1980, recorrendo aos movimentos que aconteceram após esse período, ou seja, os movimentos que ocorreram entre 1980 e 2010.

Para o cálculo do valor informativo, respeitante a cada unidade de terreno, foi necessário adicionar primeiramente, no *ArcMap*, o respectivo valor de cada factor de predisposição por intermédio da ferramenta *Analyst Tools > Overlay > Spatial Join* do *ArcToolbox*. Os dados correspondentes ao valor informativo de 1947-2010 e 1947-1980, estão dispostos respectivamente em Anexo 1 (Tabela 11.1, Tabela 11.2 e Tabela 11.3) e Anexo 2 (Tabela 11.4, Tabela 11.5 e Tabela 11.6) Durante o processo de cálculo surgiram classes que não continham

qualquer movimento de vertente ($S_i=0$), o que acabava por tornar o Valor Informativo indefinido (devido à função logarítmica). Para estas classes foi atribuído o valor 0.99 para S_i , de modo a que o valor informativo final não fosse igualado aos valores de outras classes.

O valor informativo foi calculado com recurso ao inventário de movimentos ocorridos de 1947 a 2010 para os três tipos de unidade de terreno com diferente dimensão. Para as unidades de terreno de 10 m de crista foram afectadas 319 unidades, representando cerca de 17% do número total de unidades de terreno e área total. No caso das unidades de terreno de 20 m, 204 unidades de terreno têm movimentos, o que atinge cerca de 21% do total. Por fim, para o espaçamento de 40 m, o número de unidades de terreno afectadas foi de 66, constituindo cerca de 13% do total (Tabela 7.1).

Tabela 7.1 - Características gerais para as diferentes unidades de terreno pertencente ao inventário de 1947-2010.

1947-2010	Unidades de Terreno (UT)		
	10m	20m	40m
Total	1928	969	488
UT/UT (total)	0.0005	0.0010	0.0020
UT/UT (total) %	0.0519	0.1032	0.2049
Com movimentos	319	204	66
Sem movimentos	1609	765	422
% UT c/ movimento	16.546	21.053	13.525
% UT s/ movimento	83.454	78.947	86.475

Da mesma forma, para o inventário de 1947-1980, no que respeita ao espaçamento de 10 m de crista, foram geradas 1928 unidades de terreno, das quais 134 apresentavam-se afectadas por movimentos, representando cerca de 7% do total. No caso das unidades de terreno de 20 m foram produzidas 969 unidades, das quais cerca 88 estavam afectadas por movimentos, constituindo cerca de 9% do total. Para 40 m de crista foram criadas 488 unidades de terreno, 90 das quais se encontravam afectadas por movimentos, o que equivale à volta de 18% do total (Tabela 7.2).

Tabela 7.2 - Características gerais para as diferentes unidades de terreno de acordo com inventário de 1947-1980.

1947-1980	Unidades de Terreno (UT)		
	10m	20m	40m
Total	1928	969	488
UT/UT (total)	0.0005	0.0010	0.0020
UT/UT (total) %	0.0519	0.1032	0.2049
Com movimentos	134	88	90
Sem movimentos	1794	881	398
% UT c/ movimento	6.9502	9.0815	18.4426
% UT s/ movimento	93.0498	90.9185	81.5574

7.1.2 Análise Sensitiva

A análise sensitiva, conforme (Zêzere *et al.*, 2005, 2008), é um meio de avaliar a diferente contribuição que cada factor de predisposição possui para ocorrência de movimentos de vertente. Depois de determinados os *scores* do valor informativo, para cada unidade de terreno, foram calculadas as curvas de sucesso individuais de cada factor de predisposição e a respectiva AAC. As curvas de sucesso são definidas pelo cruzamento de informação, relativa ao *score* de cada unidade de terreno afectada, e o total das unidades de terreno, organizadas por ordem decrescente de susceptibilidade. Depois de averiguado qual o peso que cada factor exerce, através da análise das suas ACC, são calculadas as taxas de sucesso face ao modelo ideal. O modelo ideal é calculado assumindo que as unidades de terreno afectadas surgem organizadas em primeiro lugar, explicando assim os movimentos ocorridos mais cedo. Consecutivamente, foram organizados os factores hierarquicamente, por ordem decrescente de importância, e foi efectuada a soma dos valores informativos de cada unidade de terreno de cada factor, originando uma ACC diferente para cada adição. A partir da análise das AAC alcançadas, foram descartados os factores que não contribuíam positivamente para o modelo de susceptibilidade. Foi, seguidamente, realizada a soma total dos valores informativos dos factores que contribuem positivamente para o modelo e calculada a taxa de sucesso (modelo ideal vs. modelo testado). Por fim, foi executada a sua validação através do cálculo da curva ROC, relacionando assim a fracção dos VP (verdadeiros positivos) com a fracção dos FP (falsos positivos).

7.1.2.1 Inventário 1947-2010

Agruparam-se as curvas de sucesso resultantes da análise sensível para as diferentes dimensões das unidades de terreno pertencentes ao inventário de 1947 a 2010. Os valores da AAC individuais, como também o modelo ideal e as taxas de sucesso obtidas neste processo, estão na Tabela 7.3.

No que respeita às curvas de sucesso para as unidades de terreno de 10, 20 e 40 (Gráfico 7.1, Gráfico 7.2, Gráfico 7.3), o valor da AAC mais elevada pertence ao factor litologia, mantendo-se, da mesma forma, nas primeiras posições o declive máximo, declive médio e protecção do sopé. Em contrapartida os factores mais baixos para as 3 unidades de terreno são as sapas, as falhas e as exsurgências. Observando a tabela indicada anteriormente, verifica-se que o aumento do espaçamento da unidade de terreno pouco tem influência na variação dos factores de predisposição.

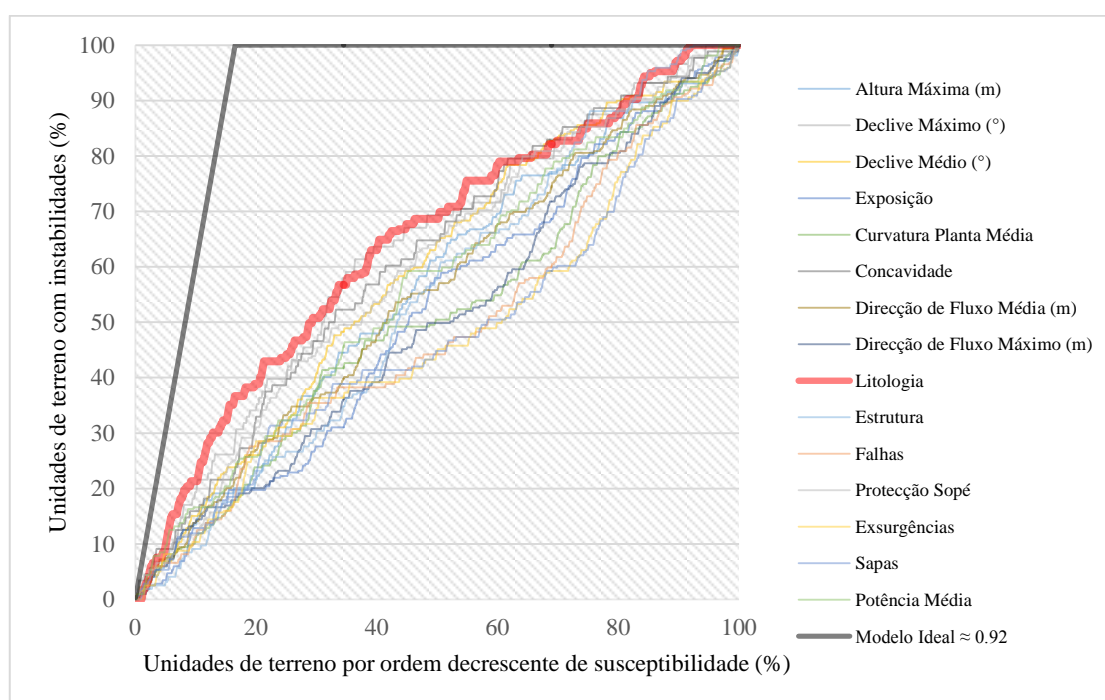


Gráfico 7.1 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensível para as unidades de terreno de 10 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

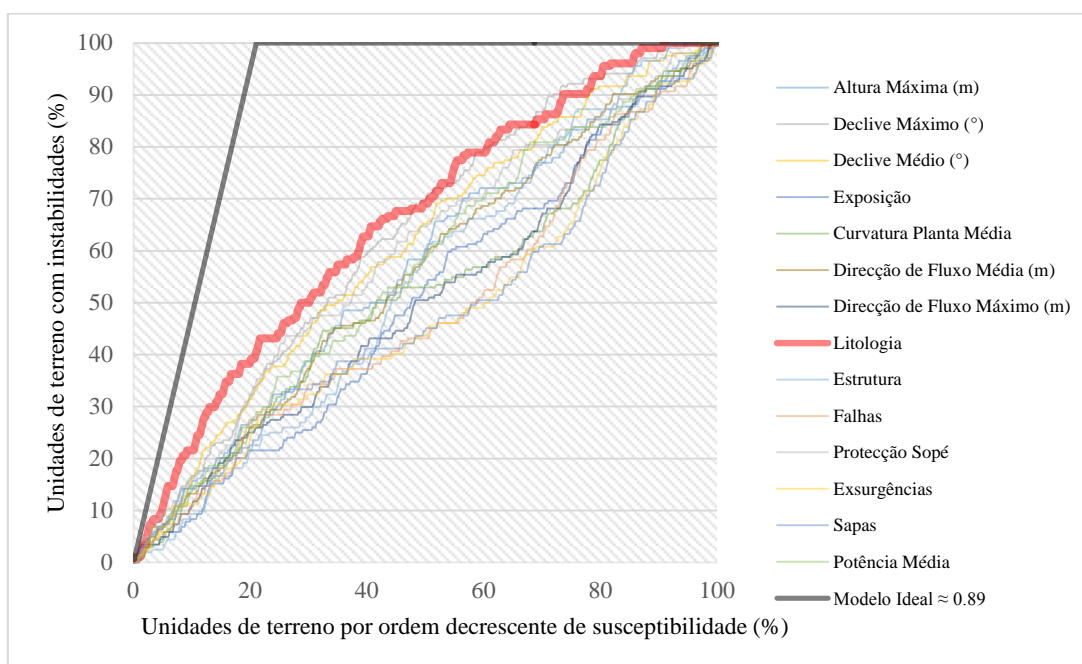


Gráfico 7.2 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 20 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

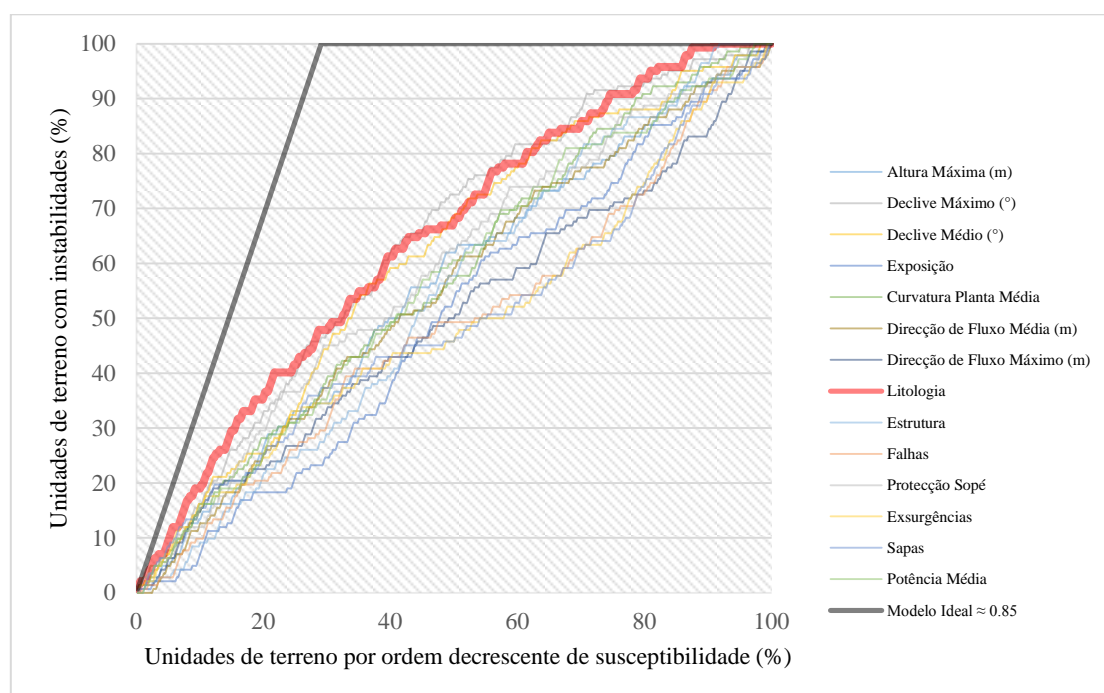


Gráfico 7.3 - Curvas de Sucesso efectuadas alusivas a análise sensitiva para as unidades de terreno de 40 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

Tabela 7.3 – AAC taxas de sucesso dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno para Inventário de 1947-2010.

UT 10m				UT 20m				UT 40m			
Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado
Litologia	0.6431	0.9173	0.7011	Litologia	0.6563	0.8947	0.7336	Litologia	0.6427	0.8545	0.7521
Declive Máximo (°)	0.6122		0.6674	Declive Máximo (°)	0.6303		0.7045	Declive Máximo (°)	0.6380		0.7467
Protecção Sopé	0.5977		0.6516	Declive Médio (°)	0.6064		0.6777	Declive Médio (°)	0.6107		0.7147
Declive Médio (°)	0.5902		0.6434	Protecção Sopé	0.5954		0.6654	Protecção Sopé	0.5825		0.6816
Potência Média	0.5650		0.6160	Altura Máxima (m)	0.5657		0.6323	Curvatura Planta Média	0.5731		0.6707
Altura Máxima (m)	0.5615		0.6122	Potência Média	0.5634		0.6297	Potência Média	0.5655		0.6618
Direcção de Fluxo Média (m)	0.5517		0.6014	Direcção de Fluxo Média (m)	0.5560		0.6214	Altura Máxima (m)	0.5579		0.6529
Estrutura	0.5439		0.5929	Estrutura	0.5383		0.6016	Estrutura	0.5389		0.6307
Exposição	0.5176		0.5643	Curvatura Planta Média	0.5182		0.5792	Direcção de Fluxo Média (m)	0.5322		0.6228
Curvatura Planta Média	0.5123		0.5585	Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5038		0.5630	Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5001		0.5852
Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5047		0.5502	Exposição	0.5038		0.5630	Exposição	0.4984		0.5833
Falhas	0.4888		0.5329	Falhas	0.4871		0.5444	Sapas	0.4948		0.5791
Sapas	0.4779		0.5210	Sapas	0.4797		0.5362	Exsurgências	0.4925		0.5764
Exsurgências	0.4760		0.5189	Exsurgências	0.4759		0.5319	Falhas	0.4855		0.5682

Como já referido em 7.1.2, foi efectuada a adição factor a factor e calculadas as respectivas AAC. Os valores finais para cada dimensão das unidades de terreno estão na Tabela 7.4, Tabela 7.5 e Tabela 7.6. Para as unidades de terreno de 10 m (Gráfico 7.4) o valor da AAC mais elevado, está associado ao somatório dos factores que contribuem positivamente para o modelo correspondente à adição de 12 factores. O mesmo sucede para as unidades de 20 m (Gráfico 7.5) e 40 m (Gráfico 7.6), onde os factores que contribuem positivamente para o modelo coincidem, também, com uma AAC superior, neste caso gerada através do somatório de 13 e 12 factores, respectivamente.

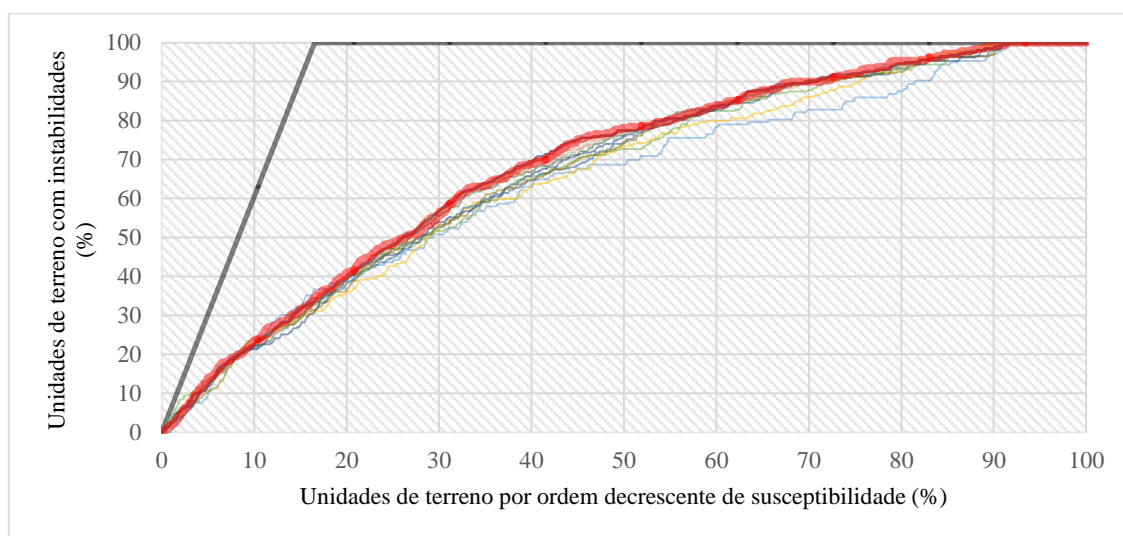


Gráfico 7.4 - Curvas de Sucesso com base nas diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com o valor da AAC mais elevado.

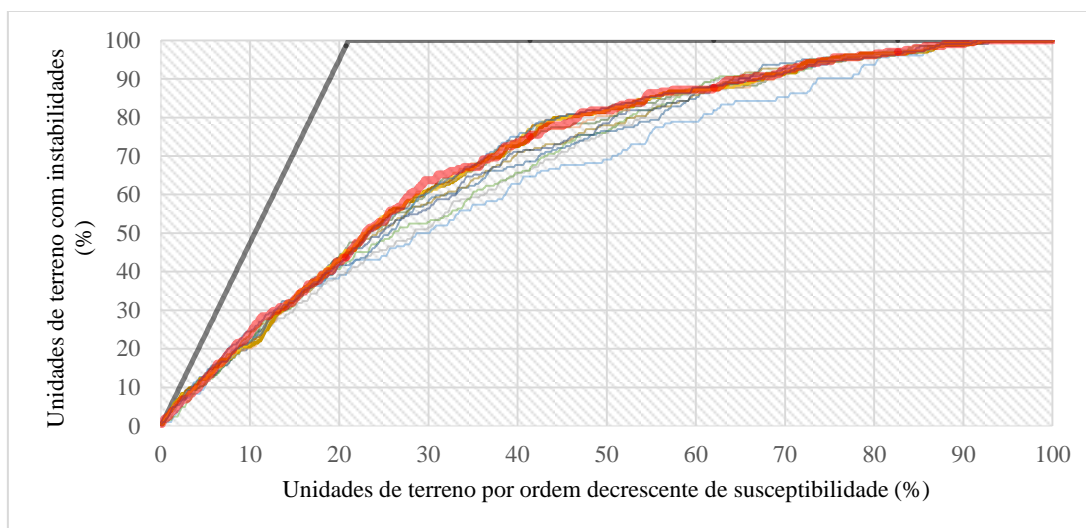


Gráfico 7.5 - Curvas de Sucesso geradas pelas diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

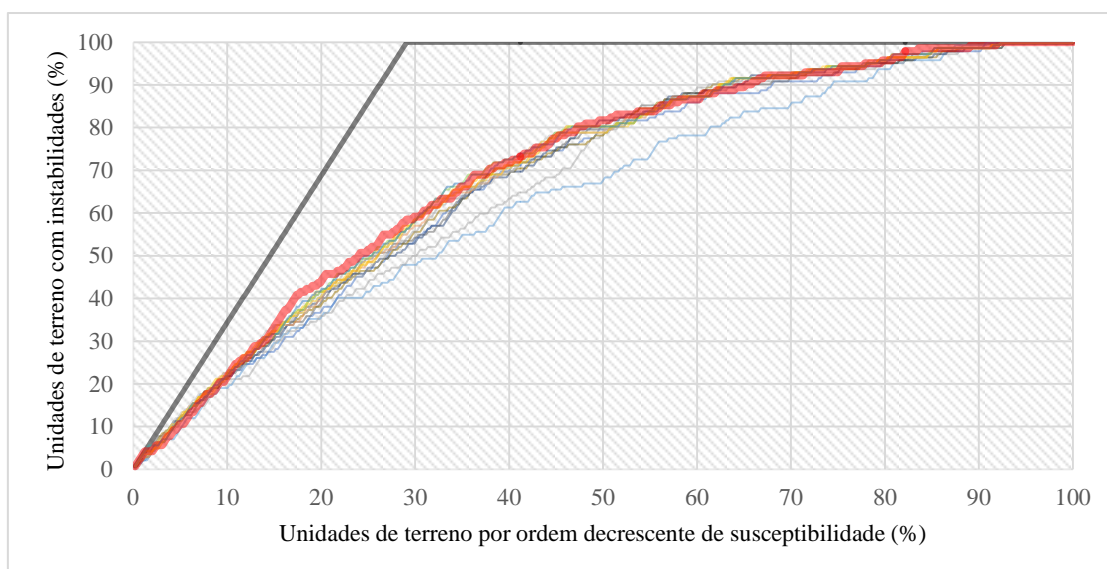


Gráfico 7.6 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

Tabela 7.4 - Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das diferentes combinações de factores efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para a sua diminuição. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Li	0.6431	0.7011	Li - Litologia
2	Li+Dmax	0.6563	0.7155	Dm - Declive Médio
3	Li+Dmax+PS	0.6672	0.7273	Hmax - Altura Máxima
4	Li+Dmax+PS+Dm	0.6693	0.7296	CPm - Curvatura Planta Média
5	Li+Dmax+PS+Dm+Pm	0.6685	0.7288	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax	0.6721	0.7327	PS - Protecção do Sopé
7	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm	0.6786	0.7398	Pm - Potência Média
8	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est	0.6815	0.7429	Est - Estrutura
9	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp	0.6833	0.7449	Dmax - Declive Máximo
10	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm	0.6853	0.7471	Exp - exposição
11	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm+Dfmax	0.6857	0.7476	F - Falhas
12	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm+Dfmax+F	0.6857	0.7476	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm+Dfmax+F+S	0.6854	0.7472	Ex - Exsurgências
14	Li+Dmax+PS+Dm+Pm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm+Dfmax+F+S+Ex	0.6855	0.7473	S - Sapas
12	Li+Dmax+PS+Dm+Hmax+DFm+Est+Exp+CPm+Dfmax+F+Ex	0.6871	0.7490	

Tabela 7.5 – Soma factor a factor de consoante a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de factores efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento, e a verde está assinalado a combinação dos factores que contribuem de forma positiva para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Li	0.6563	0.7336	Li - Litologia
2	Li+Dmax	0.6822	0.7625	Dm - Declive Médio
3	Li+Dmax+Dm	0.6871	0.7680	Hmax - Altura Máxima
4	Li+Dmax+Dm+PS	0.6939	0.7755	CPm - Curvatura Planta Média
5	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax	0.6992	0.7815	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm	0.6966	0.7786	PS - Protecção do Sopé
7	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm	0.7045	0.7874	Pm - Potência Média
8	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est	0.7063	0.7894	Est - Estrutura
9	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm	0.7093	0.7927	Dmax - Declive Máximo
10	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm+Dfmax	0.7098	0.7934	Exp - exposição
11	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm+Dfmax+Exp	0.7106	0.7942	F - Falhas
12	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm+Dfmax+Exp+F	0.7107	0.7943	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm+Dfmax+Exp+F+S	0.7110	0.7946	Ex - Exsurgências
14	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+Est+CPm+Dfmax+Exp+F+S+Ex	0.7110	0.7946	S - Sapas
13	Li+Dmax+Dm+PS+Hmax+DFm+Est+CPm+Dfmax+Exp+F+S+Ex	0.7132	0.7971	

Tabela 7.6 - Adição factor a factor de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior, a amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados contribuíam para a sua diminuição, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Li	0.6427	0.7521	Li - Litologia
2	Li+Dmax	0.6731	0.7877	Dm - Declive Médio
3	Li+Dmax+Dm	0.6844	0.8009	Hmax - Altura Máxima
4	Li+Dmax+Dm+PS	0.6873	0.8043	CPm - Curvatura Planta Média
5	Li+Dmax+Dm+PS+CPm	0.6933	0.8114	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm	0.6921	0.8099	PS - Protecção do Sopé
7	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax	0.6920	0.8098	Pm - Potência Média
8	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm	0.6973	0.8161	Est - Estrutura
9	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est	0.6987	0.8177	Dmax - Declive Máximo
10	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est+Dfmax	0.7003	0.8196	Exp - exposição
11	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est+Dfmax+Exp	0.7006	0.8198	F - Falhas
12	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est+Dfmax+Exp+S	0.7013	0.8207	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est+Dfmax+Exp+S+Ex	0.70326	0.8230	Ex - Exsurgências
14	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+Pm+Hmax+DFm+Est+Dfmax+Exp+S+Ex+F	0.70335	0.8231	S - Sapas
12	Li+Dmax+Dm+PS+CPm+DFm+Est+Dfmax+Exp+S+Ex+F	0.7052	0.8252	

Portanto, o somatório resultante associado aos factores que incrementam as AAC, organizados através de uma hierarquia, fornece sempre, para as três dimensões das unidades de terreno, um valor superior.

Assim sendo, os valores das AAC mais elevados para as unidades de 10 m, 20 m e 40 m foram de 0.6871, 0.7132 e 0.7052, respectivamente. À primeira vista, com estes resultados, à medida que o valor da unidade de terreno aumenta não se tem a mesma resposta por parte das AAC, não se verificando, assim, um comportamento padrão.

Tendo em conta o cálculo anterior das AAC foram calculadas as taxas de sucesso, expostas anteriormente nas Tabela 7.4, Tabela 7.5 e Tabela 7.6. Foi visível então, tendo em consideração sempre o modelo de referência, que o valor com a taxa de sucesso mais elevada correspondia as unidades de 40 m (0.8252). Verifica-se, do mesmo modo, que à medida que se aumenta a dimensão das unidades de terreno maior é a sua taxa de sucesso. Nas unidades de terreno de 40 m (Gráfico 7.7) consegue-se notar que, para 20% das unidades classificadas como instáveis, são explicados cerca de 43% dos movimentos do inventário. Para cerca de 40% das unidades mais instáveis consegue-se justificar cerca de 73% dos movimentos do inventário e para 64% das unidades mais instáveis consegue-se justificar cerca de 90% do total de movimentos. Por fim, a justificação para a 100% de unidades instáveis é atingida quando são alcançados 92% dos movimentos do inventário.

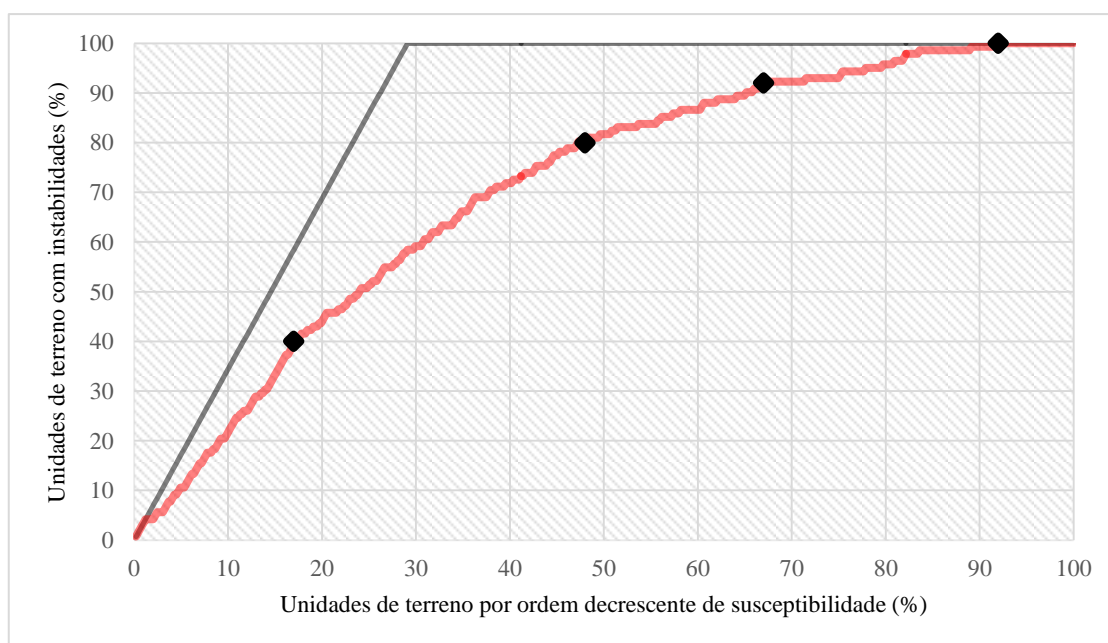


Gráfico 7.7 – Curva de Sucesso com a taxa de sucesso mais elevada correspondente as unidades de 40 m.

7.1.2.1.1 Curva ROC de Validação

A curva ROC fornece a probabilidade de uma célula seleccionada estar afectada por movimentos. Consoante os modelos estatísticos efectuados, a curva ROC foi construída para os resultados mais elevados das AAC concebidas para as várias unidades de terreno. Os valores obtidos resultantes apresentam uma variação idêntica às taxas de sucesso (Tabela 7.7), ou seja, quanto maior é a dimensão da unidade de terreno maior será a AAC da curva ROC, aumentando o resultado final da probabilidade de ocorrência. Consequentemente, o maior valor calculado para a AAC corresponde às unidades de terreno de 40 m (Gráfico 7.8).

Tabela 7.7 - Valores das Curvas ROC para as diferentes unidades de terreno (1947-2010).

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.7219
20	0.7703
40	0.7894

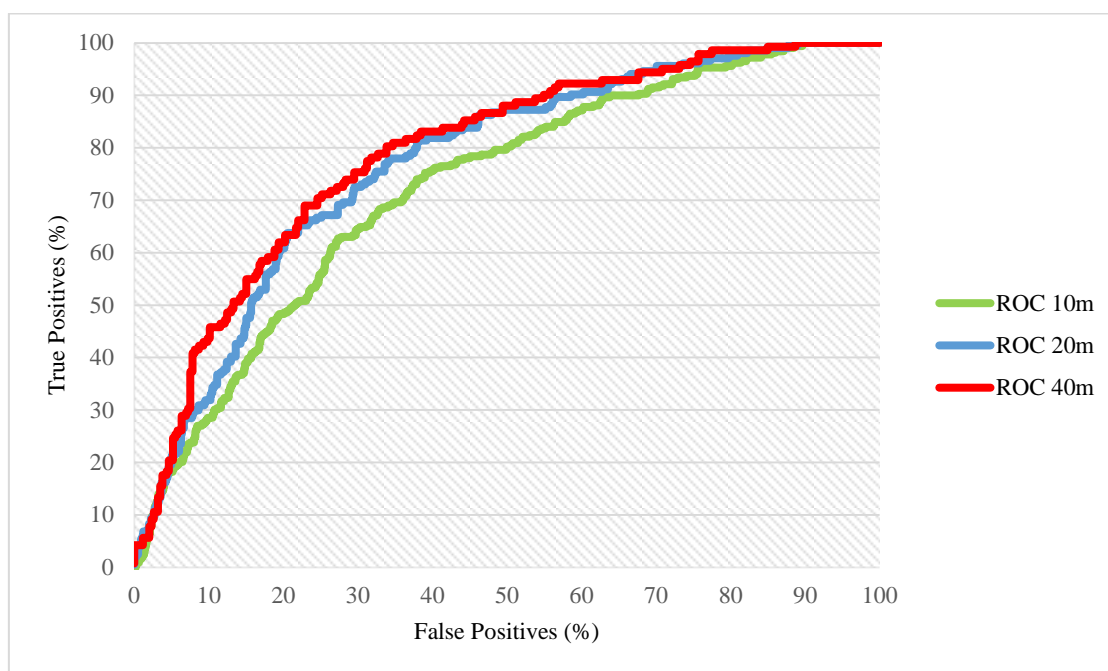


Gráfico 7.8 - Curvas ROCs para as 3 diferentes dimensões de unidades de terreno. A AAC mais elevada neste caso, pertence às unidades de 40 m.

7.1.2.2 Inventário 1947-1980

Procedendo do mesmo modo e usando o mesmo critério de análise para o inventário de 1947-2010, foram reunidas as curvas de sucesso resultantes da análise sensítiva, para as diferentes dimensões das unidades de terreno pertencentes ao inventário de 1947a 1980. Os valores da AAC individuais, como também do modelo ideal, e as taxas de sucesso obtidas neste processo estão expostos na Tabela 7.8.

Relativamente às curvas de sucesso das unidades de terreno de 10 m e 20 m (Gráfico 7.9 e Gráfico 7.10) o valor da AAC mais elevado pertence ao factor declive médio, enquanto nas unidades de 40 m (Gráfico 7.11) essa posição é ocupada pelo declive máximo. Em contrapartida, os factores mais baixos para as três unidades de terreno distintas são as sapas para as unidades de 10 m, a direcção de fluxo máxima para as unidades de 20 m e a exposição no que toca as unidades de 40 m. Pode-se verificar, de acordo com a Tabela 7.8, que o factor sapas encontra-se quase sempre nos últimos lugares, embora os factores sejam atingidos por uma maior dispersão.

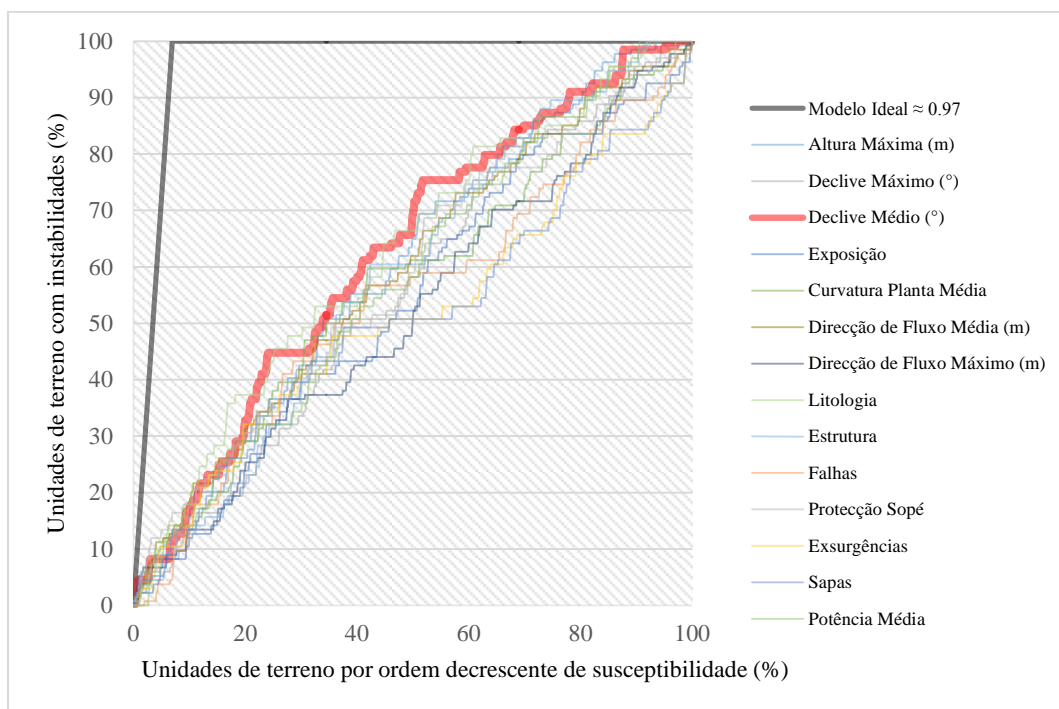


Gráfico 7.9 - Curvas de Sucesso efectuadas referentes a análise sensítiva para as unidades de terreno de 10 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

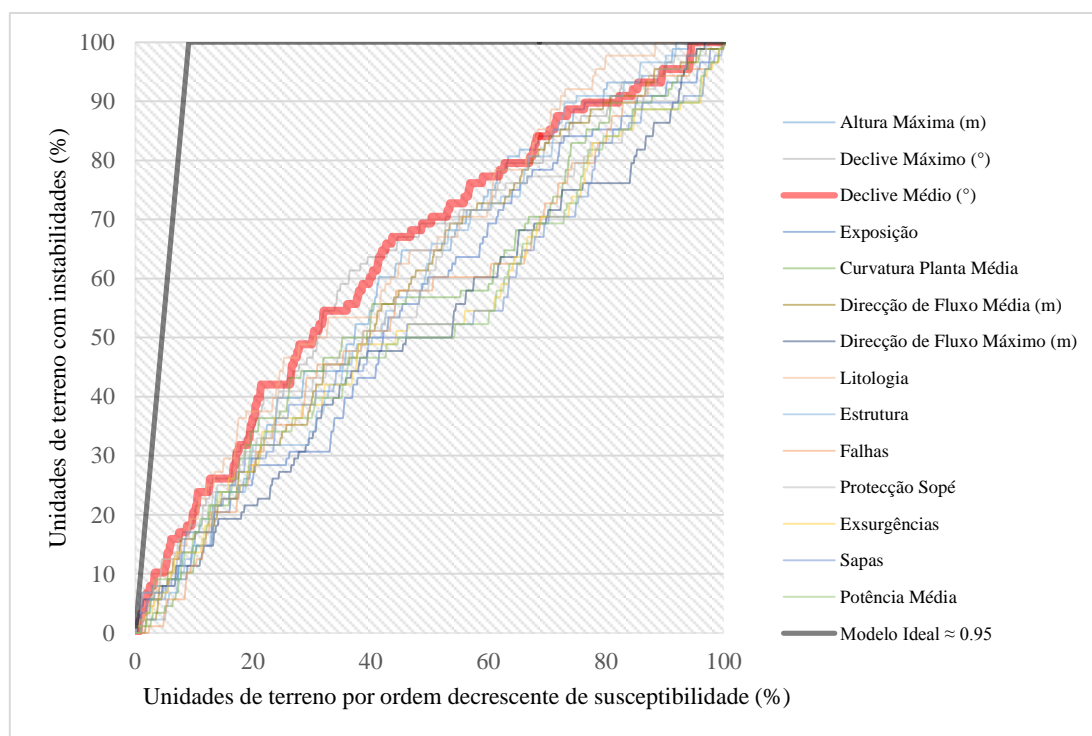


Gráfico 7.10 - Curvas de Sucesso referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 20 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

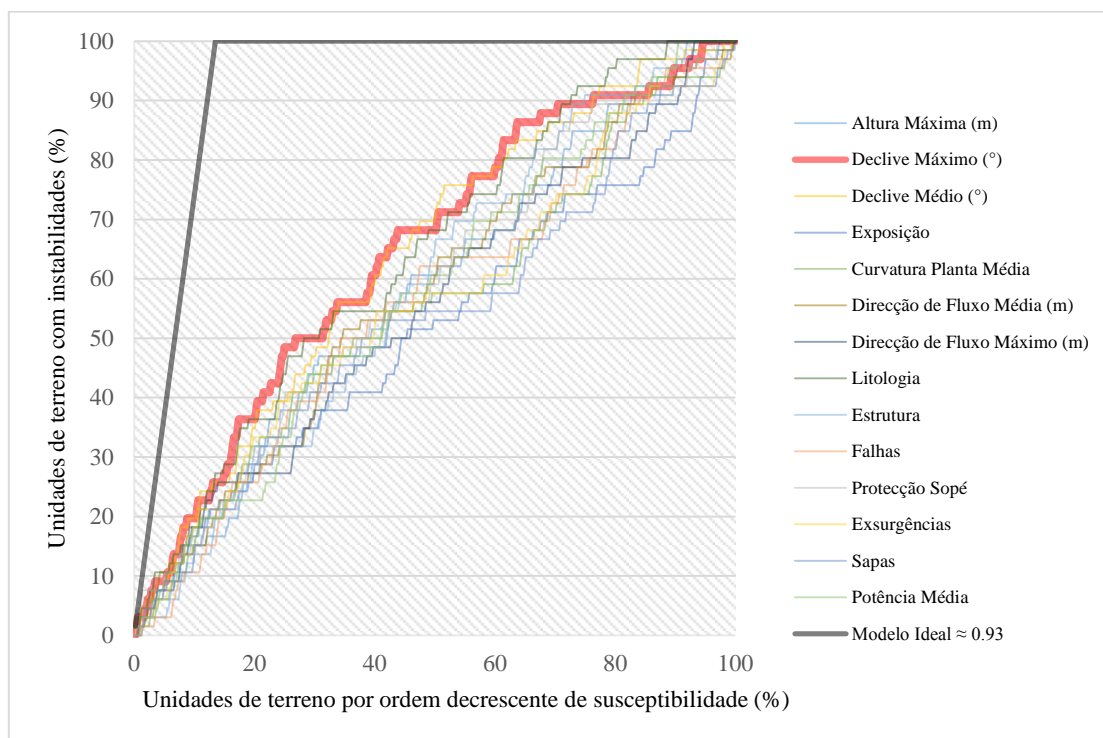


Gráfico 7.11 - Curvas de Sucesso referentes a análise sensitiva para as unidades de terreno de 40 m. A vermelho está indicada a curva correspondente à AAC mais elevada.

Tabela 7.8 – AAC e Taxas de sucesso dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno.

UT 10m				UT 20m				UT 40m			
Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Factores	AAC	Modelo Ideal	Modelo Ideal vs. Modelo Testado
Declive Médio (°)	0.6258	0.9653	0.6484	Declive Médio (°)	0.6356	0.9546	0.6658	Declive Máximo (°)	0.6456	0.9324	0.6924
Litologia	0.6245		0.6470	Litologia	0.6335		0.6637	Declive Médio (°)	0.6398		0.6862
Altura Máxima (m)	0.6007		0.6223	Declive Máximo (°)	0.6271		0.6569	Litologia	0.6386		0.6849
Direcção de Fluxo Média (m)	0.5905		0.6118	Altura Máxima (m)	0.6067		0.6356	Estrutura	0.5839		0.6263
Estrutura	0.5860		0.6071	Direcção de Fluxo Média (m)	0.5879		0.6158	Protecção Sopé	0.5836		0.6259
Potência Média	0.5814		0.6024	Estrutura	0.5847		0.6125	Potência Média	0.5790		0.6209
Protecção Sopé	0.5794		0.6003	Protecção Sopé	0.5838		0.6116	Altura Máxima (m)	0.5788		0.6207
Curvatura Planta Média	0.5670		0.5874	Potência Média	0.5619		0.5886	Falhas	0.5739		0.6155
Declive Máximo (°)	0.5592		0.5794	Curvatura Planta Média	0.5521		0.5783	Exsurgências	0.5593		0.5998
Falhas	0.5410		0.5605	Exposição	0.5500		0.5762	Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5588		0.5993
Exposição	0.5399		0.5594	Falhas	0.5296		0.5548	Curvatura Planta Média	0.5535		0.5936
Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5217		0.5404	Exsurgências	0.5280		0.5531	Direcção de Fluxo Média (m)	0.5525		0.5925
Exsurgências	0.5135		0.5320	Sapas	0.5256		0.5506	Sapas	0.5318		0.5704
Sapas	0.5102		0.5285	Direcção de Fluxo Máximo (m)	0.5135		0.5379	Exposição	0.5170		0.5545

Foi, então, realizada a adição dos valores informativos factor a factor e calculadas as respectivas AAC. Os valores finais para cada dimensão das unidades de terreno estão na Tabela 7.9, Tabela 7.10 e Tabela 7.11. Sendo assim, para as unidades de terreno de 10 m (Gráfico 7.12), o valor da AAC mais elevada corresponde à adição de 10 factores. No caso das unidades de 20 m e 40 m (Gráfico 7.13;

Gráfico 7.14), a adição dos 11 factores com influência positiva forneceu um valor superior de AAC. Os valores das AAC mais elevadas correspondentes a 10 m, 20 m e 40 m foram, nesta ordem, de 0.7507, 0.7580 e 0.7441.

Verificou-se que, analogamente ao que acontece para o inventário de 1947 a 2010, o somatório resultante dos factores que influenciam positivamente o modelo providenciam valores mais elevados para as três dimensões das unidades de terreno.

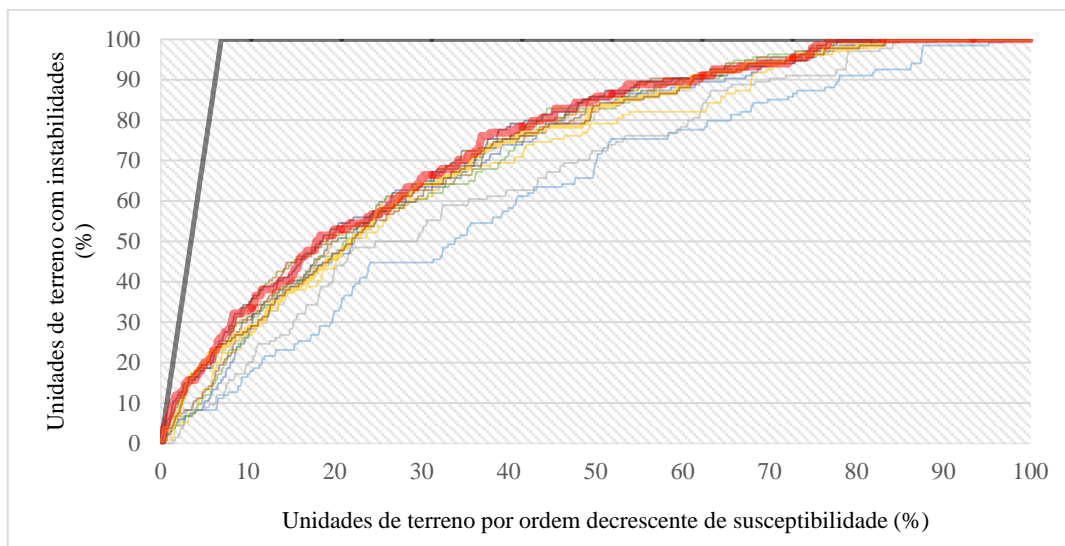


Gráfico 7.12 - Curvas de Sucesso de acordo com as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com o valor da AAC mais elevado.

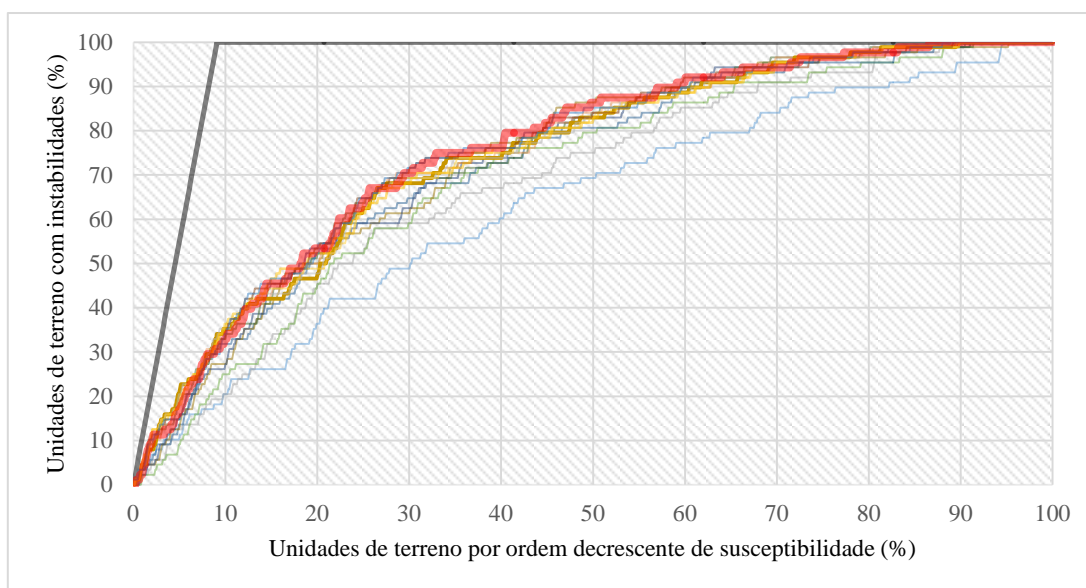


Gráfico 7.13 - Curvas de sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.

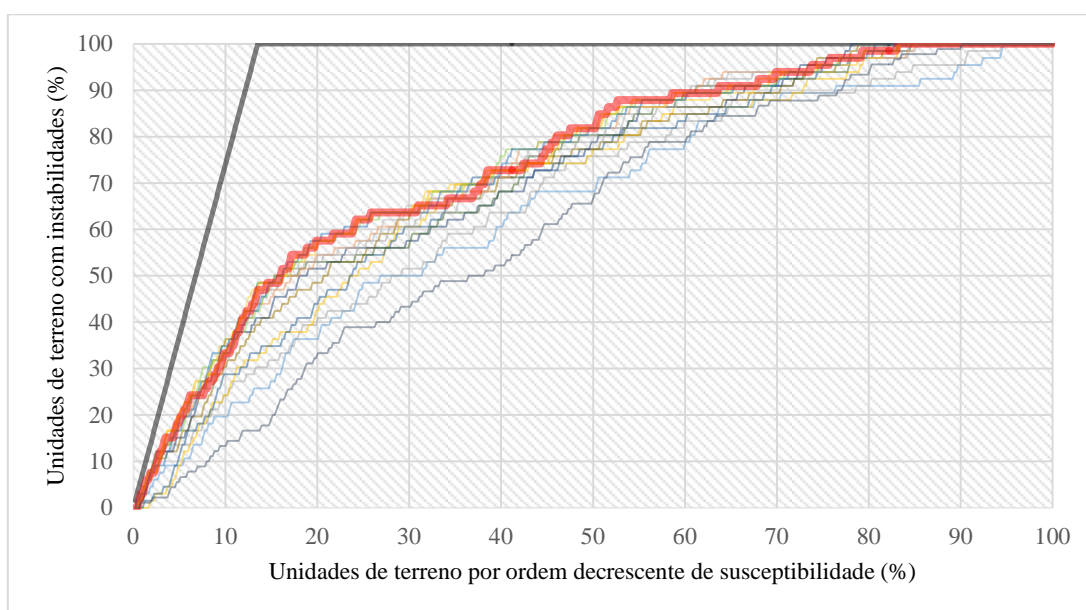


Gráfico 7.14 - Curvas de sucesso conforme as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal, e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.

Tabela 7.9 -Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das diferentes combinações de factores efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para a sua diminuição. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Dm	0.6258	0.6484	Li - Litologia
2	Dm+Li	0.6651	0.6890	Dm - Declive Médio
3	Dm+Li+Hmax	0.7070	0.7324	Hmax - Altura Máxima
4	Dm+Li+Hmax+DFm	0.7271	0.7533	CPm - Curvatura Planta Média
5	Dm+Li+Hmax+DFm+Est	0.7287	0.7550	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm	0.7385	0.7651	PS - Protecção do Sopé
7	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS	0.7430	0.7698	Pm - Potência Média
8	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm	0.7493	0.7763	Est - Estrutura
9	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax	0.7432	0.7700	Dmax - Declive Máximo
10	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax+F	0.7414	0.7681	Exp - exposição
11	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax+F+Exp	0.7300	0.7563	F - Falhas
12	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax+F+Exp+Dfmax	0.7315	0.7579	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax+F+Exp+Dfmax+Ex	0.7311	0.7574	Ex - Exsurgências
14	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dmax+F+Exp+Dfmax+Ex+S	0.7313	0.7577	S - Sapas
10	Dm+Li+Hmax+DFm+Est+Pm+PS+CPm+Dfmax+S	0.7507	0.7777	F - Falhas

Tabela 7.10 - Adição factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados contribuíam para o seu aumento. A verde está marcado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Dm	0.6356	0.6658	Li - Litologia
2	Dm+Li	0.6885	0.7213	Dm - Declive Médio
3	Dm+Li+Dmax	0.7031	0.7365	Hmax - Altura Máxima
4	Dm+Li+Dmax+Hmax	0.7296	0.7643	CPm - Curvatura Planta Média
5	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm	0.7392	0.7744	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est	0.7392	0.7744	PS - Protecção do Sopé
7	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS	0.7481	0.7837	Pm - Potência Média
8	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm	0.7509	0.7867	Est - Estrutura
9	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp	0.7470	0.7825	Dmax - Declive Máximo
10	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp+F	0.7468	0.7824	Exp - exposição
11	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp+F+Ex	0.7466	0.7821	F - Falhas
12	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp+F+Ex+S	0.7482	0.7838	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp+F+Ex+S+Pm	0.7552	0.7911	Ex - Exsurgências
14	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+Exp+F+Ex+S+Pm+Dfmax	0.7554	0.7914	S - Sapas
11	Dm+Li+Dmax+Hmax+DFm+Est+PS+CPm+S+Pm+Dfmax	0.7580	0.7940	F - Falhas

Tabela 7.11 - Adição factor a factor de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados contribuíam para o seu aumento, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº de Factores	Hierarquia segundo AAC de cada factor	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Dmax	0.6456	0.6924	Li - Litologia
2	Dmax+Dm	0.6656	0.7139	Dm - Declive Médio
3	Dmax+Dm+Li	0.6964	0.7469	Hmax - Altura Máxima
4	Dmax+Dm+Li+Est	0.7003	0.7510	CPm - Curvatura Planta Média
5	Dmax+Dm+Li+Est+PS	0.7165	0.7685	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm	0.7177	0.7698	PS - Protecção do Sopé
7	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax	0.7257	0.7783	Pm - Potência Média
8	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm	0.7320	0.7851	Est - Estrutura
9	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex	0.7375	0.7909	Dmax - Declive Máximo
10	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex+F	0.7374	0.7909	Exp - exposição
11	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex+F+Dfmax	0.7433	0.7972	F - Falhas
12	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex+F+Dfmax+CPm	0.7444	0.7984	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex+F+Dfmax+CPm+S	0.7438	0.7977	Ex - Exsurgências
14	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+DFm+Ex+F+Dfmax+CPm+S+Exp	0.7424	0.7963	S - Sapas
11	Dmax+Dm+Li+Est+PS+Pm+Hmax+Ex+Dfmax+CPm+DFm	0.7441	0.7981	F - Falhas

Foram, igualmente, calculadas as taxas de sucesso para as AAC mais elevadas de 10 m, 20 m, e 40 m. Deram origem, respectivamente, às seguintes taxas de sucesso: 0.7777, 0.7940 e 0.7981. Deste modo, à semelhança do inventário anterior, as unidades de terreno de 40 m forneceram a taxa de sucesso superior, indicando este o modelo estatístico mais adequado para a análise sensitiva. Neste modelo de susceptibilidade, gerado pelas unidades de terreno de 40 m (Gráfico 7.15), consegue-se observar que para 14% das unidades classificadas como instáveis são explicados cerca de 47% dos movimentos do inventário. Em 37% das unidades mais instáveis consegue-se justificar cerca de 67% dos movimentos do inventário e para 53% das unidades mais instáveis justifica-se cerca de 88% do total de movimentos. Finalmente, cerca de 83% das unidades instáveis confirmam-se a totalidade (100%) dos movimentos inventariados.

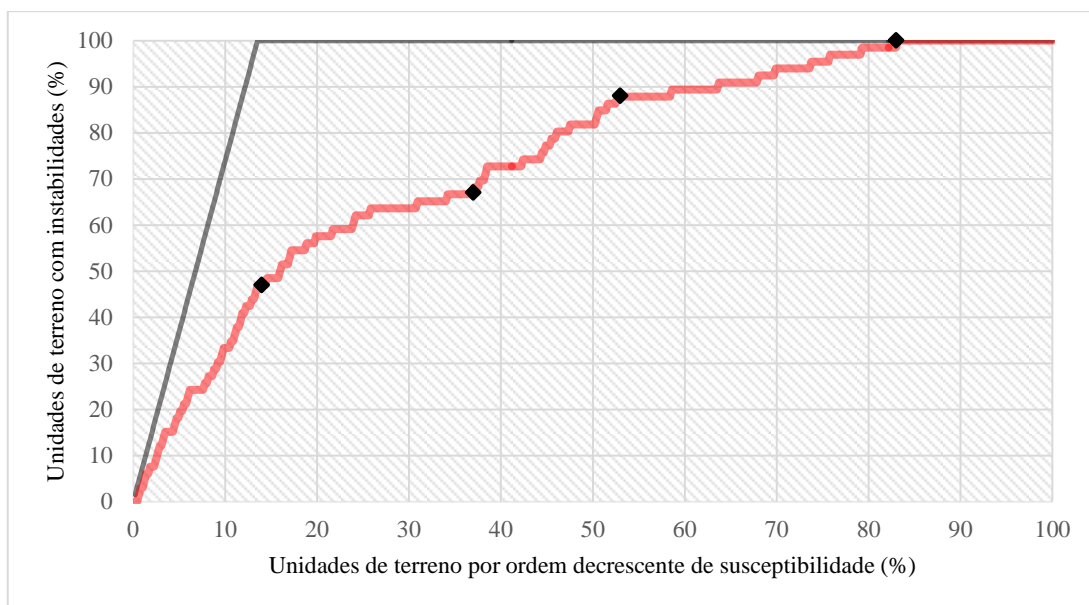


Gráfico 7.15 - Curva de Sucesso com a taxa de sucesso mais elevada correspondente as unidades de 40 m.

7.1.2.2.1 Curva ROC de Validação

A curva ROC também foi construída para os resultados mais elevados das AAC nas várias unidades de terrenos geradas. Os valores resultantes foram um pouco distintos em relação aos obtidos pelas taxas de sucesso (Tabela 7.12). Contrariamente a estas, a AAC da curva ROC é superior para as unidades de terreno de 20 m, não se observando, assim, um comportamento padrão (Gráfico 7.16).

Tabela 7.12 - Valores da curva ROC para as três unidades de terreno (1947-1980).

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.7694
20	0.7838
40	0.7823

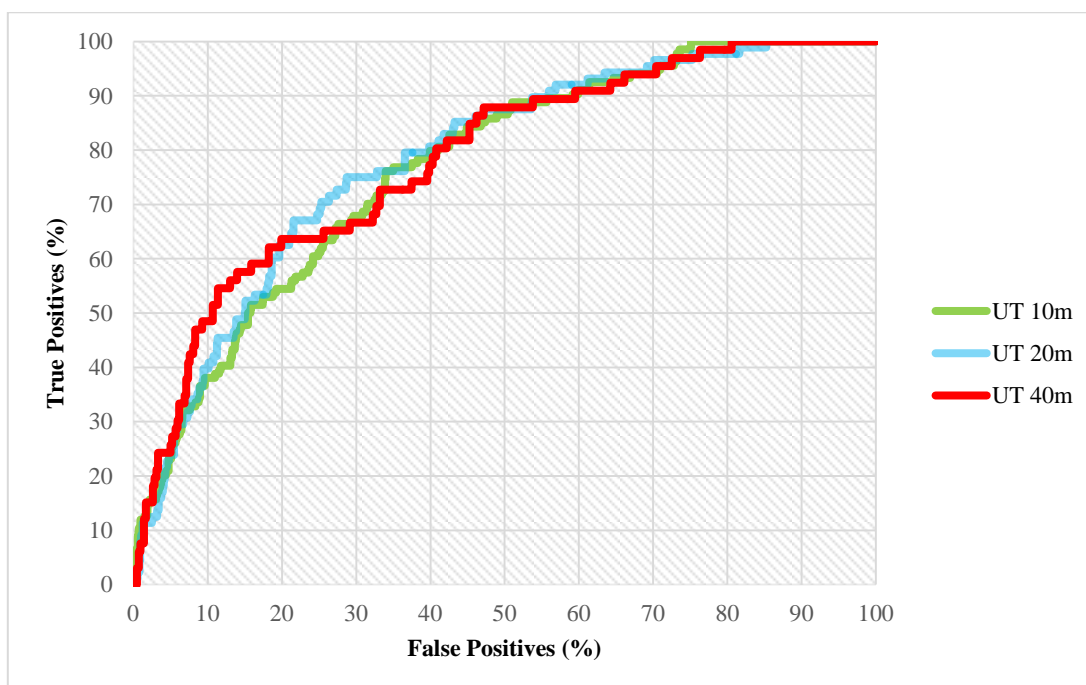


Gráfico 7.16 – Curvas ROC para as três unidades de terreno com AAC mais elevada, pertencentes as unidades de 20 m.

7.1.2.2.2 Validação Curvas ROC de Predição

No capítulo anterior foi validado o modelo estatístico através da aplicação da curva ROC de predição. Agora o objectivo é também a validação, mas por intermédio do cálculo da curva ROC de predição consequente, por meio de um conjunto de movimentos temporalmente independente das instabilidades que levaram a construção do modelo inicial.

Já identificados, precedentemente, os modelos que apresentavam as taxas de sucesso mais elevadas, tendo sido confirmados, igualmente, pelas Curvas ROC, foi efectuada a substituição do conjunto de movimentos de 1947 a 1980 pelos movimentos entre 1980 e 2010 e foram geradas as curvas ROC correspondentes (Tabela 7.13 e Gráfico 7.17).

Tabela 7.13 – Curvas ROC para as diferentes dimensões de unidades de terreno utilizadas.

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.5604
20	0.5777
40	0.6482

Conforme a tabela anterior as unidades de 10 m apresentam a taxa de predição mais baixa. O modelo com capacidade preditiva superior, ao contrário do que sucede com AAC da curva ROC de sucesso, está associado as unidades de terreno de 40 m. Confrontando assim com os resultados obtidos para curva ROC de sucesso as diferenças são bem visíveis, apesar de ser expectável que o modelo de predição seja mais baixo.

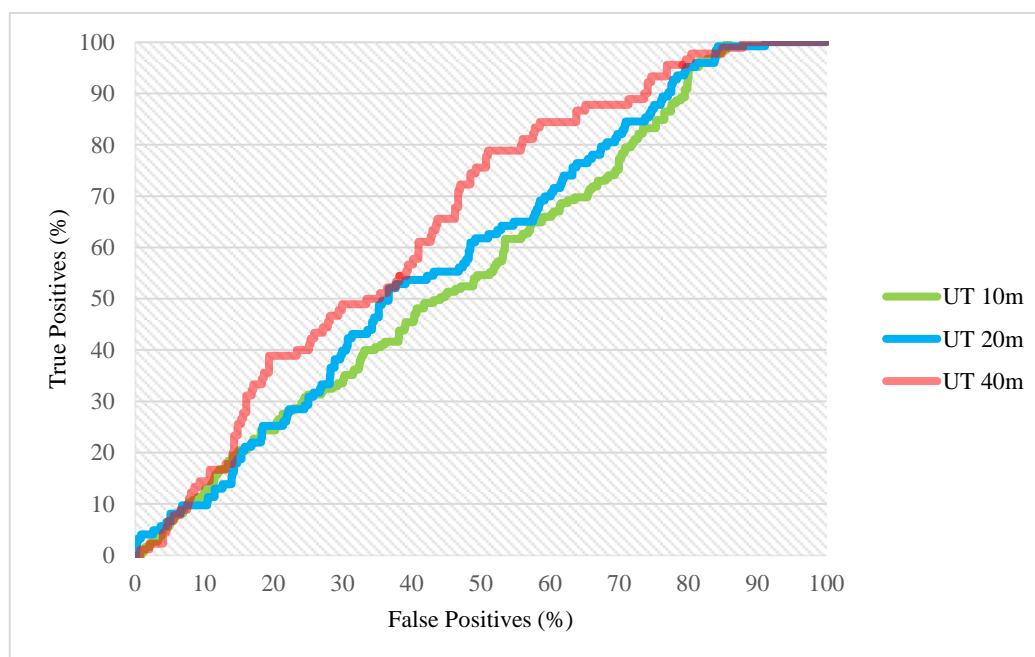


Gráfico 7.17 – Curvas ROC de predição para as três unidades de terreno. O modelo preditivo mais elevado corresponde as unidades de terreno de 40 m.

7.1.3 Média dos Valores Absolutos

Outro meio para hierarquizar os factores é análise da Média dos Valores Absolutos, que, segundo Vasconcelos (2011), é um meio simples e expedito utilizado para avaliar, desde logo, os factores mais/menos importantes que estão em jogo, através da seguinte expressão:

$$SC_{abs} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (|a_i|, \dots, |a_n|) \quad (12)$$

Em que:

n - corresponde ao número de classes de cada variável,

a_i - valor informativo da primeira variável

a_n - valor informativo da última variável.

Consoante a expressão referida anteriormente foram dispostos e hierarquizados os factores, segundo a média dos valores absolutos para o inventário de 1947.a.2010 e 1947 a 1980. O procedimento adoptado é idêntico ao utilizado na Análise Sensitiva. Foram, assim, obtidas as curvas de sucesso para cada adição de factores e, em concordância para cada somatório, foram descartados os factores que baixavam as ACC consequentes. Igualmente, foi realizado o cálculo das taxas de sucesso e a validação através da curva ROC, para os valores mais elevados das ACC nas diferentes unidades de terreno.

7.1.3.1 Inventário 1947-2010

Os valores médios absolutos do inventário de 1947 a 2010 foram, então, hierarquizados os factores segundo ordem decrescente para as diferentes dimensões das unidades de terreno (Tabela 7.14). Através da tabela anterior pode-se afirmar que o valor mais elevado para as três unidades de terreno utilizadas, definindo o factor que mais contribui para a ocorrência de movimento de vertente, pertence ao factor estrutura, seguido e pela litologia e pelo declive máximo. Os factores que, à partida, não influenciam os movimentos de vertente são: a direcção de fluxo máxima, as sapas, as exsurgências e as falhas, sendo este último o que possui valores mais baixos nas três unidades de terreno.

Tabela 7.14 - AAC e o respectivo valor do modelo ideal dos 14 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno.

Unidades de Terreno 10m			Unidades de Terreno 20m			Unidades de Terreno 40m		
Factores	Média |Ii|	Modelo Ideal	Factores	Média |Ii|	Modelo Ideal	Factores	Média |Ii|	Modelo Ideal
Estrutura	0.8680	0.9173	Estrutura	0.7399	0.8947	Estrutura	0.6583	0.8545
Litologia	0.7926		Litologia	0.6538		Litologia	0.6172	
Declive Máximo	0.4941		Declive Máximo	0.4906		Declive Máximo	0.5143	
Protecção do sopé	0.3250		Curvatura Planta Média	0.4183		Declive Médio	0.4101	
Exposição	0.3209		Declive Médio	0.3456		Curvatura Planta Média	0.3126	
Declive Médio	0.3179		Protecção do sopé	0.2765		Exsurgências	0.2827	
Curvatura Planta Média	0.2691		Exposição	0.2290		Sapas	0.2741	
Altura Máxima	0.2392		Altura Máxima	0.2071		Protecção do sopé	0.2178	
Potência Média	0.1608		Potência Média	0.1993		Exposição	0.2175	
Direcção Média	0.1531		Direcção Média	0.1815		Potência Média	0.2032	
Exsurgências	0.1508		Sapas	0.1681		Altura Máxima	0.2016	
Sapas	0.1313		Exsurgências	0.0896		Direcção Fluxo Média	0.1831	
Direcção de Fluxo Máxima	0.0700		Direcção de Fluxo Máxima	0.0706		Direcção de Fluxo Máxima	0.0985	
Falhas	0.0173		Falhas	0.0166		Falhas	0.0485	

Segundo a hierarquia determinada por este método, e de novo à semelhança do que ocorreu para a análise sensitiva, foram definidas as AAC para cada combinação. Consecutivamente, foram assinalados os factores que subiam a AAC, para cada adição, e realizado o seu somatório. No que diz respeito às unidades de terreno de 10 m (Gráfico 7.18 e Tabela 7.15) o valor da ACC mais elevado está associado ao somatório dos 12 factores. Para as unidades de 20 m (Gráfico 7.19 e Tabela 7.16), 13 factores resultaram na AAC superior, enquanto que nas unidades de 40 m (Gráfico 7.20 e Tabela 7.17), o número de factores que justificam a AAC mais elevada foi de 10.

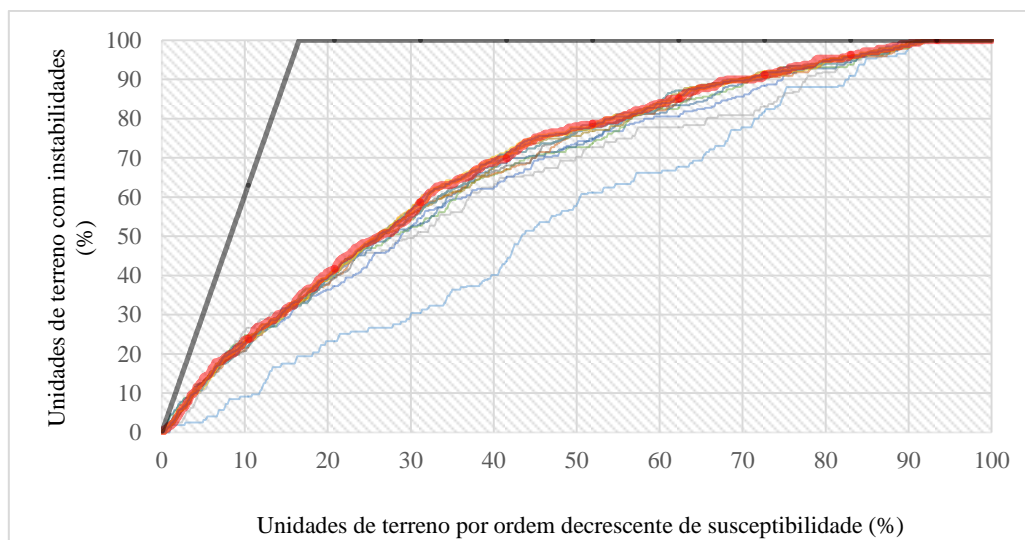


Gráfico 7.18 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 10 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

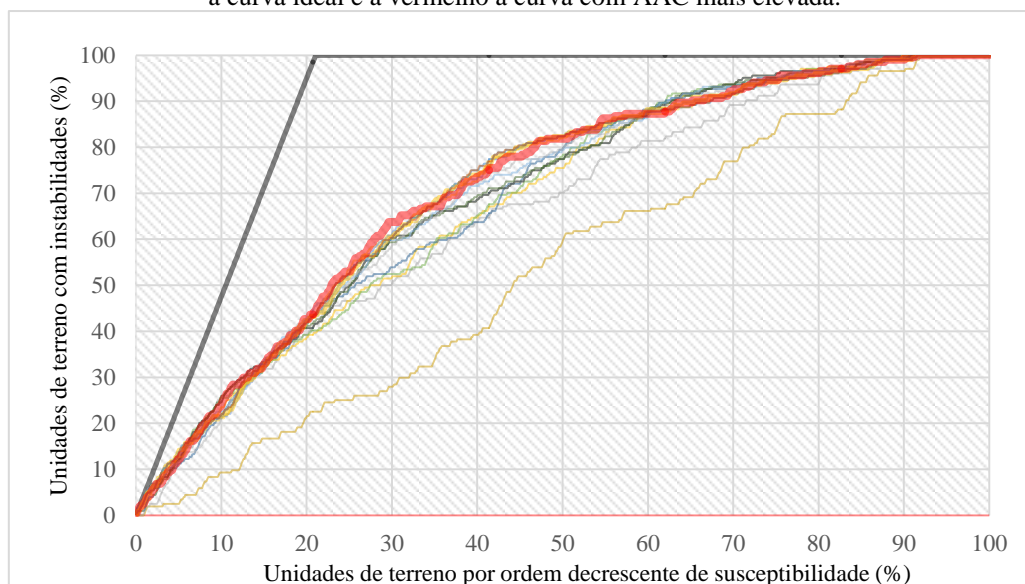


Gráfico 7.19 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

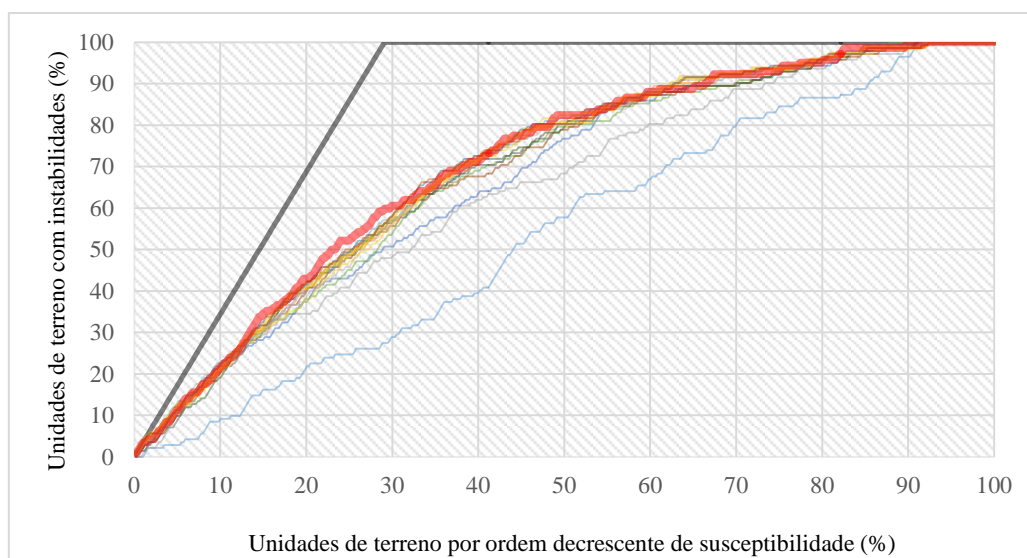


Gráfico 7.20 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a Média dos valores informativos absolutos de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

Determina-se, paralelamente ao que se tem observado até ao momento, que o somatório dos factores que se mostram influentes na subida das AAC distintas, fornecendo o valor mais elevado para as três dimensões das unidades de terreno.

Os valores das AAC das curvas de sucesso mais elevadas para as unidades de 10 m, 20 m e 40 m foram de 0.6860, 0.7134 e 0.7040, respectivamente. Nota-se que o valor das AAC mais elevadas não apresenta uma variação uniforme conforme o aumento das unidades de terreno.

Tabela 7.15 – Somatório factor a factor conforme a hierarquia das AAC geradas pela Média dos Valores Absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados não concorrem para o seu aumento. A verde está assinalada a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo média |li|	AAC	Modelo Ideal vs. Modelo Testado	Legenda
1	Est	0.5439	0.5929	Li - Litologia
2	Est+Li	0.6472	0.7055	Dm - Declive Médio
3	Est+Li+Dmax	0.6596	0.7191	Hmax - Altura Máxima
4	Est+Li+Dmax+PS	0.6702	0.7307	CPm - Curvatura Planta Média
5	Est+Li+Dmax+PS+Exp	0.6719	0.7325	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm	0.6750	0.7359	PS - Protecção do Sopé
7	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm	0.6769	0.7380	Pm - Potência Média
8	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax	0.6802	0.7416	Est - Estrutura
9	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm	0.6791	0.7404	Dmax - Declive Máximo
10	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm+DFm	0.6853	0.7471	Exp - Exposição
11	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm+DFm+Ex	0.6853	0.7472	F - Falhas
12	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm+DFm+Ex+S	0.6852	0.7470	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm+DFm+Ex+S+Dfmax	0.6855	0.7473	Ex - Exsurgências
14	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+Pm+DFm+Ex+S+Dfmax+F	0.6855	0.7473	S - Sapas
12	Est+Li+Dmax+PS+Exp+Dm+CPm+Hmax+DFm+Ex+Dfmax+F	0.6871	0.7490	

Tabela 7.16 - Soma factor a factor de consoante a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de factores efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuem para o seu aumento, e a verde está assinalado a combinação dos factores que influenciam de forma positiva para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo média |li|	AAC	Modelo Ideal vs Modelo Testado	Legenda
1	Est	0.5383	0.6016	Li - Litologia
2	Est+Li	0.6636	0.7417	Dm - Declive Médio
3	Est+Li+Dmax	0.6849	0.7654	Hmax - Altura Máxima
4	Est+Li+Dmax+CPm	0.6896	0.7707	CPm - Curvatura Planta Média
5	Est+Li+Dmax+CPm+Dm	0.6924	0.7738	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS	0.7010	0.7835	PS - Protecção do Sopé
7	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp	0.7013	0.7838	Pm - Potência Média
8	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax	0.7052	0.7881	Est – Estrutura
9	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm	0.7030	0.7857	Dmax - Declive Máximo
10	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm+DFm	0.7102	0.7937	Exp - Exposição
11	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm+DFm+S	0.7103	0.7939	F – Falhas
12	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm+DFm+S+Ex	0.7103	0.7939	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm+DFm+S+Ex+Dfmax	0.7109	0.7945	Ex - Exsurgências
14	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+Pm+DFm+S+Ex+Dfmax+F	0.7110	0.7946	S - Sapas
13	Est+Li+Dmax+CPm+Dm+PS+Exp+Hmax+DFm+S+Ex+Dfmax+F	0.7132	0.7971	

Tabela 7.17 - Adição factor a factor de acordo com a hierarquia das AAC geradas pela análise sensitiva individual e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. Como indicado na tabela anterior, a amarelo observa-se as AAC das quais os factores não contribuem para o seu aumento, e verde está apontado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo média |li|	AAC	Modelo Ideal vs Modelo Testado	Legenda
1	Est	0.5389	0.6307	Li - Litologia
2	Est+Li	0.6475	0.7578	Dm - Declive Médio
3	Est+Li+Dmax	0.6743	0.7891	Hmax - Altura Máxima
4	Est+Li+Dmax+Dm	0.6840	0.8005	CPm - Curvatura Planta Média
5	Est+Li+Dmax+Dm+CPm	0.6874	0.8045	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex	0.6910	0.8086	PS - Protecção do Sopé
7	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S	0.6906	0.8082	Pm - Potência Média
8	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS	0.6987	0.8177	Est - Estrutura
9	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp	0.6971	0.8158	Dmax - Declive Máximo
10	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp+Pm	0.6962	0.8148	Exp - Exposição
11	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp+Pm+Hmax	0.6957	0.8141	F - Falhas
12	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp+Pm+Hmax+DFm	0.7010	0.8203	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp+Pm+Hmax+DFm+Dfmax	0.7033	0.8230	Ex - Exsurgências
14	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+S+PS+Exp+Pm+Hmax+DFm+Dfmax+F	0.7033	0.8231	S - Sapas
10	Est+Li+Dmax+Dm+CPm+Ex+PS+DFm+Dfmax+F	0.7058	0.8260	

Conjuntamente com os valores das AAC das curvas de sucesso, estão expostos os valores das taxas de sucesso, cujo maior valor da pertencente às unidades de 40 m (0.8238) (Gráfico 7.21). Assim, para o modelo de susceptibilidade obtido, verifica-se que para 15% das unidades classificadas como instáveis são explicados cerca de 35% dos movimentos do inventário, com cerca de 29% das unidades mais instáveis consegue-se justificar a cerca de 60% dos movimentos do inventário e para 49% das unidades mais instáveis consegue-se justificar cerca de 82% do total de movimentos. Finalmente, aos 92% de unidades de terreno se justifica a totalidade dos movimentos do inventário.

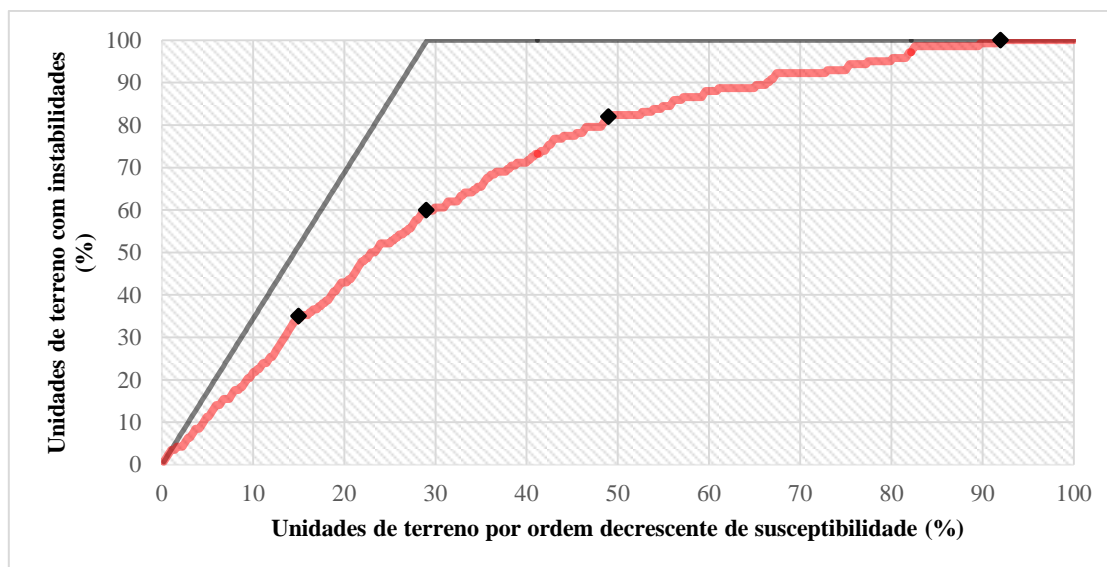


Gráfico 7.21 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a média dos valores informativos absolutos para unidades de 40 m. A preto está exposta a curva ideal, e a vermelho a curva com AAC mais elevada.

7.1.3.1.1 Curva ROC de Validação

A curva ROC, para os resultados mais elevados das AAC, nas várias unidades de terreno geradas, exibe uma variação idêntica às taxas de sucesso (Tabela 7.18). O maior valor calculado para a AAC da curva ROC corresponde as unidades de terreno de 40 m (0.7902), confirmando os resultados obtidos para as taxas de sucesso (Gráfico 7.22).

Tabela 7.18 – AAC das curvas ROC para cada uma das unidades de terreno (1947-2010).

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.7242
20	0.7700
40	0.7902

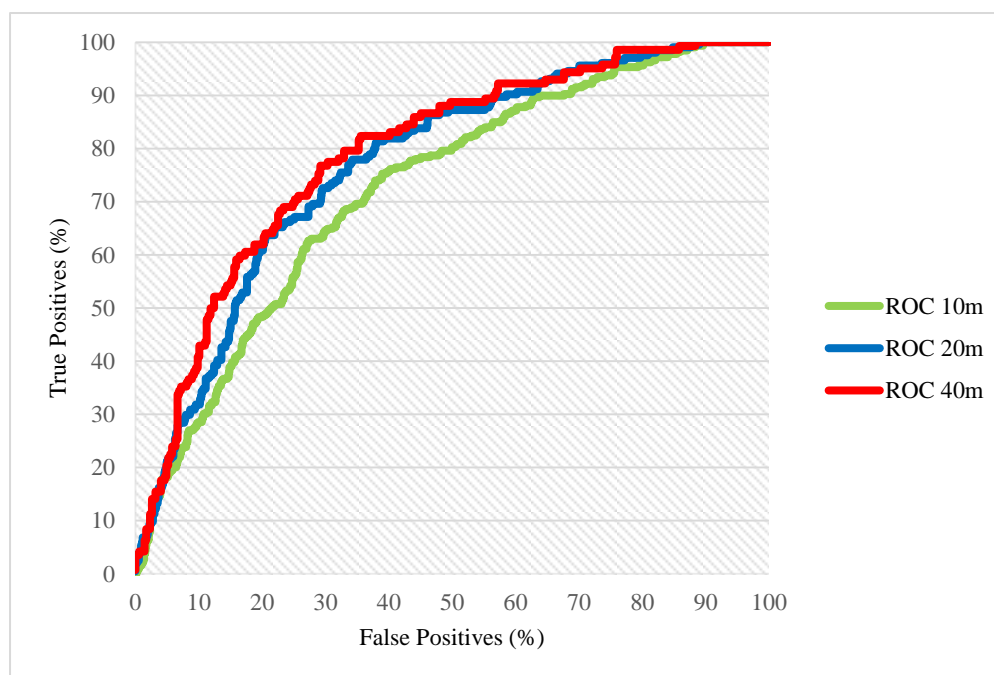


Gráfico 7.22 - Curva ROCs para as três diferentes dimensões de unidades de terreno. A AAC mais elevada pertencente às unidades de 40 m (a vermelho).

7.1.3.2 Inventário 1947-1980

Foi então hierarquizado, por ordem decrescente, a média dos valores informativos absolutos do inventário de 1947 a 1980, de acordo com as diferentes dimensões das unidades de terreno (Tabela 7.19). A média dos valores informativos absolutos hierarquizada, para as unidades de terreno de 10 m, 20 m e 40 m indica como valor mais elevado o factor estrutura e assinala, como valor mais baixo, o factor falhas. Com esta análise simples é notória a influência da estrutura como factor preponderante no desencadeamento de movimentos, como também da litologia e do declive máximo, em contrapartida com as falhas e com direcção de fluxo máxima. Como vem sendo habitual, foi aplicada adição factor a factor e calculadas as respectivas AAC, com base nesta sequência hierarquizada. Os valores resultantes, que estão indicados na Tabela 7.20, Tabela 7.21 e Tabela 7.22, respondem da mesma forma ao observado para o inventário de 1947 a 2010, onde o somatório resultante dos factores que influenciam positivamente o modelo dão origem a AAC superiores para as três unidades de terreno utilizadas.

O valor das ACC mais elevada relativa as unidades de terreno de 10 m (**Erro! A origem da eferência não foi encontrada.**) foi de 0.7507, sendo equivalente à soma de 10 factores. Para as unidades de terreno de 20 m (Gráfico 7.24) o valor da AAC mais elevada corresponde a 0.7558, determinada pelo somatório de 13 factores. Por fim, para as unidades de 40 m (Gráfico 7.25) a AAC de maior valor foi 0.7439, correspondendo a um total de 11 factores.

Tabela 7.19 – Média dos valores informativos absolutos dos 18 factores utilizados ordenados por ordem decrescente para as três dimensões de unidades de terreno.

Unidades de Terreno de 10m			Unidades de Terreno de 20m			Unidades de Terreno de 40m		
Factores	Média |li|	Modelo Ideal	Factores	Média |li|	Modelo Ideal	Factores	Média |li|	Modelo Ideal
Estrutura	0.7609	0.9653	Curvatura Planta Média	0.7895	0.9546	Litologia	0.6505	0.9324
Litologia	0.6986		Estrutura	0.6846		Exposição	0.6102	
Curvatura Planta Média	0.6216		Litologia	0.6514		Estrutura	0.5888	
Exposição	0.5198		Exposição	0.4806		Declive Médio	0.4434	
Declive Médio	0.4193		Declive Médio	0.4170		Declive Máximo	0.4351	
Protecção do sopé	0.3826		Protecção do sopé	0.4072		Protecção do sopé	0.3900	
Altura Máxima	0.3169		Declive Máximo	0.3510		Exsurgências	0.2898	
Declive Máximo	0.2892		Altura Máxima	0.3294		Potência Média	0.2491	
Potência Média	0.2757		Direcção Média	0.2887		Altura Máxima	0.2343	
Direcção Média	0.2463		Potência Média	0.2720		Curvatura Planta Média	0.2031	
Exsurgências	0.2403		Exsurgências	0.2227		Direcção Média	0.1986	
Sapas	0.1208		Sapas	0.2107		Direcção de Fluxo Máxima	0.1954	
Direcção de Fluxo Máxima	0.1199		Falhas	0.0943		Sapas	0.1421	
Falhas	0.0996		Direcção de Fluxo Máxima	0.0631		Falhas	0.1210	

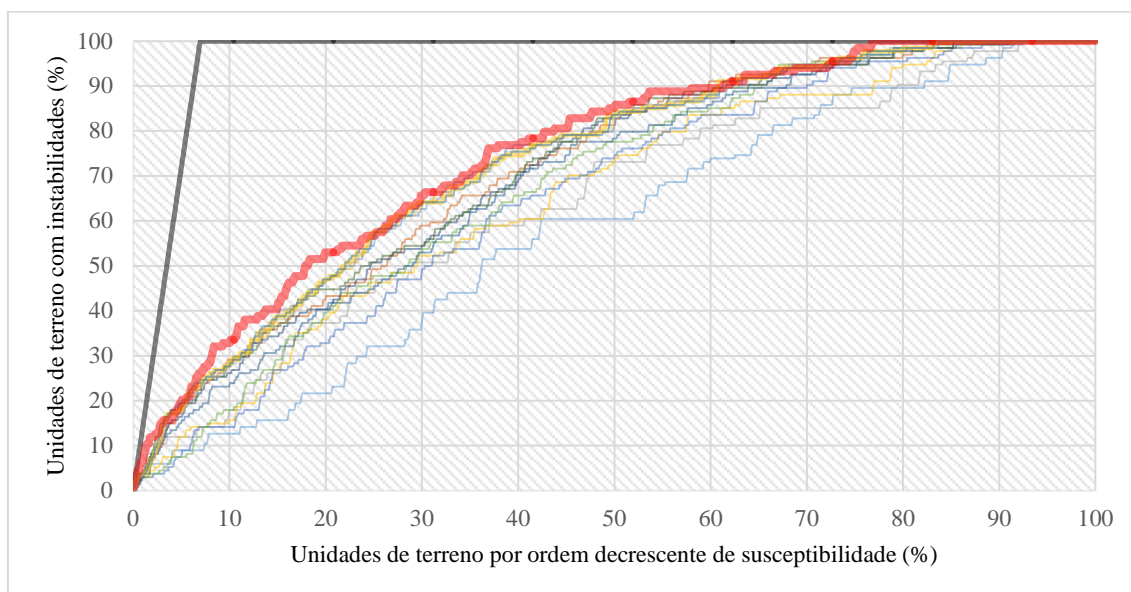


Gráfico 7.23 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 10 m. A curva ideal está assinalada a preto e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.

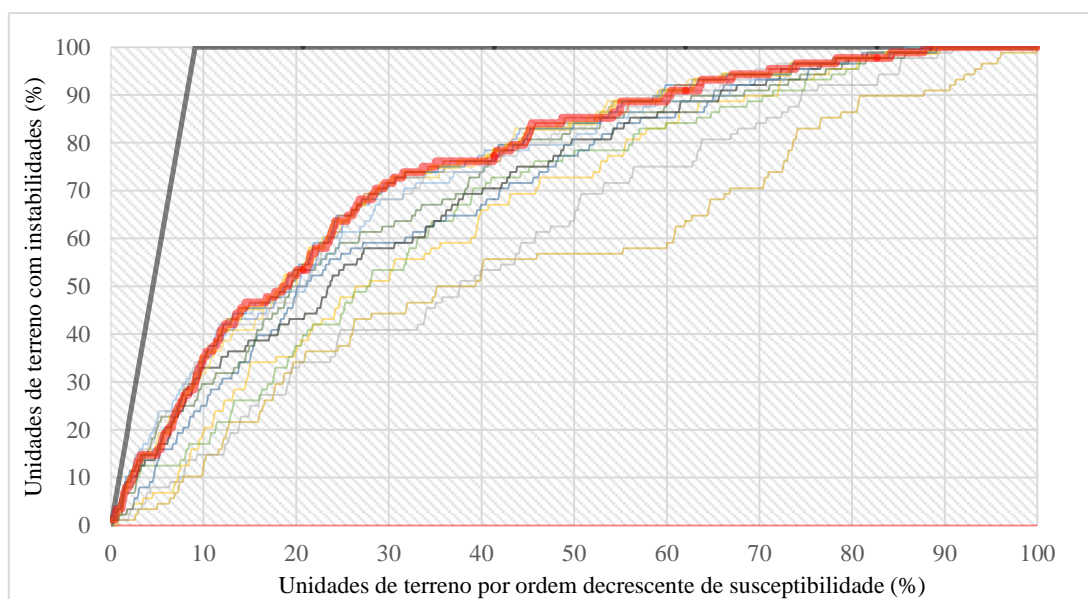


Gráfico 7.24 - Curvas de Sucesso das diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 20 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.

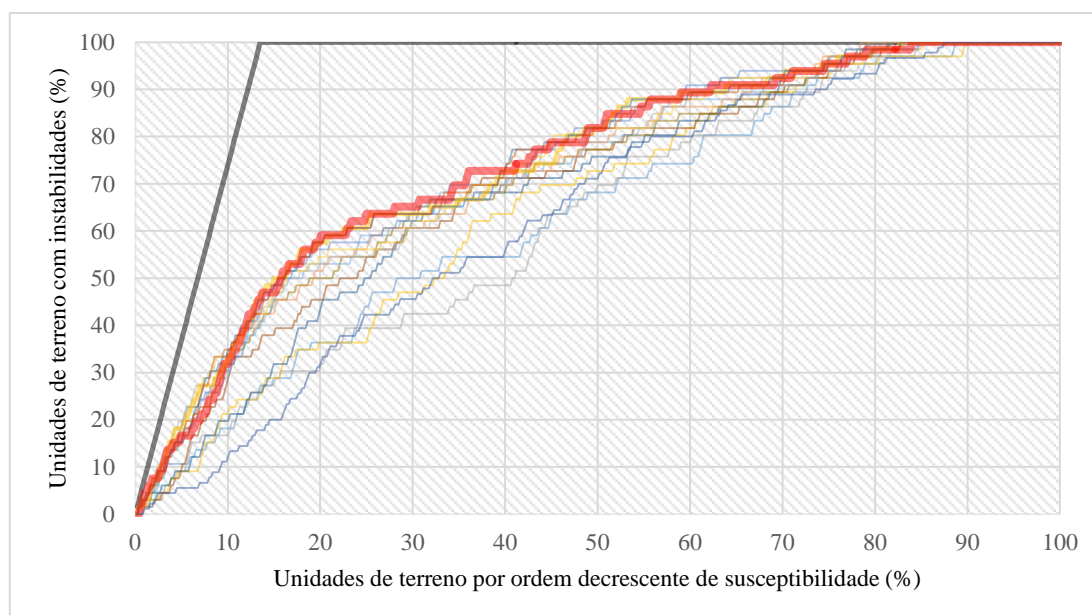


Gráfico 7.25 - Curvas de Sucesso conforme as diferentes combinações hierarquicamente organizadas conforme a AAC individual de cada factor para unidades de 40 m. A preto está representada a curva ideal e a vermelho a curva com a AAC mais elevada.

Tabela 7.20 - Adição factor a factor conforme a hierarquia da média dos valores informativos absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 10 m. A amarelo encontram-se as AAC cujos factores adicionados não contribuíam para o seu aumento e a verde está assinalado a combinação dos factores que contribuem positivamente para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo média |li|	AAC	Modelo Ideal vs Modelo Testado	Legenda
1	Est	0.5860	0.6071	Li - Litologia
2	Est+Li	0.6444	0.6676	Dm - Declive Médio
3	Est+Li+CPm	0.6575	0.6811	Hmax - Altura Máxima
4	Est+Li+CPm+Exp	0.6558	0.6794	CPm - Curvatura Planta Média
5	Est+Li+CPm+Exp+Dm	0.6824	0.7069	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS	0.6931	0.7181	PS - Protecção do Sopé
7	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax	0.7171	0.7430	Pm - Potência Média
8	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax	0.7099	0.7354	Est – Estrutura
9	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+	0.7165	0.7423	Dmax - Declive Máximo
10	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+DFm	0.7311	0.7574	Exp - exposição
11	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+DFm+Ex	0.7306	0.7569	F – Falhas
12	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+DFm+Ex+S	0.7306	0.7569	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+DFm+Ex+S+Dfmax	0.7325	0.7589	Ex - Exsurgências
14	Est+Li+CPm+Exp+Dm+PS+Hmax+Dmax+Pm+DFm+Ex+S+Dfmax+F	0.7313	0.7577	S – Sapas
10	Est+Li+CPm+Dm+PS+Hmax+Pm+DFm+S+Dfmax	0.7507	0.7777	F - Falhas

Tabela 7.21 – Soma factor a factor consoante a hierarquia da média dos valores informativos absolutos e respectivas curvas e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 20 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento e a verde está apontada a combinação dos factores que contribuem de forma positiva para o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo média |li|	AAC	Modelo Ideal vs Modelo Testado	Legenda
1	CPm	0.5619	0.5886	Li - Litologia
2	CPm+Est	0.6078	0.6368	Dm - Declive Médio
3	CPm+Est+Li	0.6688	0.7006	Hmax - Altura Máxima
4	CPm+Est+Li+Exp	0.6771	0.7093	CPm - Curvatura Planta Média
5	CPm+Est+Li+Exp+Dm	0.7046	0.7381	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS	0.7113	0.7451	PS - Protecção do Sopé
7	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax	0.7267	0.7613	Pm - Potência Média
8	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax	0.7428	0.7782	Est - Estrutura
9	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm	0.7470	0.7825	Dmax - Declive Máximo
10	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm	0.7535	0.7893	Exp - exposição
11	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm+Ex	0.7540	0.7899	F - Falhas
12	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm+Ex+S	0.7555	0.7915	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm+Ex+S+F	0.7552	0.7911	Ex - Exsurgências
14	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm+Ex+S+F+Dfmax	0.7554	0.7914	S - Sapas
13	CPm+Est+Li+Exp+Dm+PS+Dmax+Hmax+DFm+Pm+Ex+S+Dfmax	0.7558	0.7917	F - Falhas

Tabela 7.22 - Adição factor a factor hierarquizados consoante Média dos valores informativos absolutos e as respectivas curvas de sucesso e taxas de sucesso das combinação de variáveis efectuadas para unidades de terreno de 40 m. A amarelo observa-se as AAC das quais os factores adicionados não contribuíam para o seu aumento, e verde está indicado a combinação dos factores que influenciam positivamente o modelo.

Nº Factores	Hierarquia segundo Média |li|	AAC	Modelo Ideal vs Modelo Testado	Legenda
1	Li	0.6386	0.6849	Li - Litologia
2	Li+Exp	0.6290	0.6746	Dm - Declive Médio
3	Li+Exp+Est	0.6557	0.7033	Hmax - Altura Máxima
4	Li+Exp+Est+Dm	0.6901	0.7402	CPm - Curvatura Planta Média
5	Li+Exp+Est+Dm+Dmax	0.7017	0.7526	DFm - Direcção de Fluxo Média
6	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS	0.7176	0.7696	PS - Protecção do Sopé
7	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex	0.7247	0.7773	Pm - Potência Média
8	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm	0.7238	0.7763	Est - Estrutura
9	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax	0.7289	0.7818	Dmax - Declive Máximo
10	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax+CPm	0.7322	0.7853	Exp - Exposição
11	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax+CPm+DFm	0.7384	0.7919	F - Falhas
12	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax+CPm+DFm+Dfmax	0.7426	0.7964	DFmax - Direcção de Fluxo Máxima
13	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax+CPm+DFm+Dfmax+S	0.7426	0.7965	Ex - Exsurgências
14	Li+Exp+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Pm+Hmax+CPm+DFm+Dfmax+S+F	0.7424	0.7963	S - Sapas
11	Li+Est+Dm+Dmax+PS+Ex+Hmax+CPm+DFm+Dfmax+S	0.7439	0.7979	F - Falhas

As unidades de terreno de 40 m foram as que obtiveram a maior taxa de sucesso (0.7979), indicando este como o modelo estatístico mais adequado, de acordo com a hierarquização inicial. Para o modelo produzido para as unidades de terreno de 40 m (Gráfico 7.26), percebe-se que cerca de 20% das unidades classificadas como instáveis explicam 59% dos movimentos do inventário. Em 63% das unidades afectadas consegue-se explicar 91% dos movimentos do inventário e para 84% das unidades instabilizadas justifica-se 100% dos movimentos inventariados.

Pode-se observar que as taxas de sucesso não adquirem o mesmo comportamento que as AAC das curvas de sucesso, devido essencialmente à diminuição inerente ao valor do modelo ideal. Portanto, este incremento de valores com aumento da dimensão da unidade de terreno justifica-se com a descida dos modelos ideais calculados.

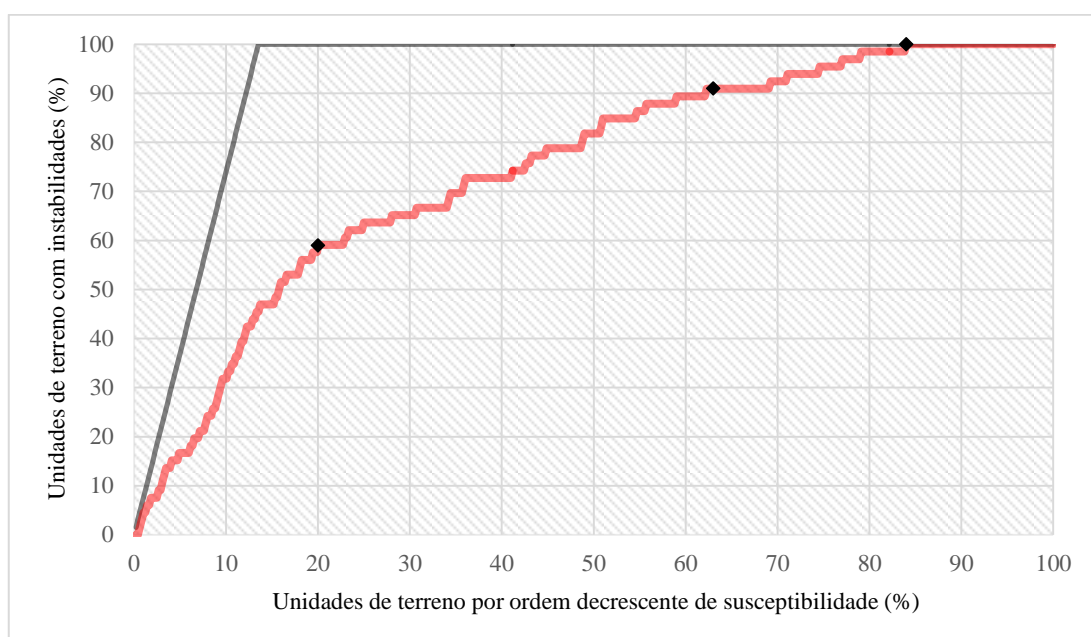


Gráfico 7.26 - AAC correspondente a taxa de sucesso mais elevada condizente com as unidades de 40 m.

7.1.3.2.1 Curva ROC de Validação

A curva ROC calculada confirmou a tendência até ao momento para a média dos valores absolutos. Para as três dimensões de terreno o valor mais elevado ocorreu para as unidades de 40m, confirmando a os valores das taxas de sucesso (Gráfico 7.27 e Tabela 7.23). Confirma-se, igualmente, que para a média dos valores absolutos quanto maior é o espaçamento da unidade de terreno maior será a AAC da curva ROC, ao contrário do que foi observado para a análise sensitiva aplicada a este mesmo inventário.

Tabela 7.23 - Valores das AAC da curva ROC para as diferentes unidades de terreno (1947-1980).

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.7694
20	0.7813
40	0.7821

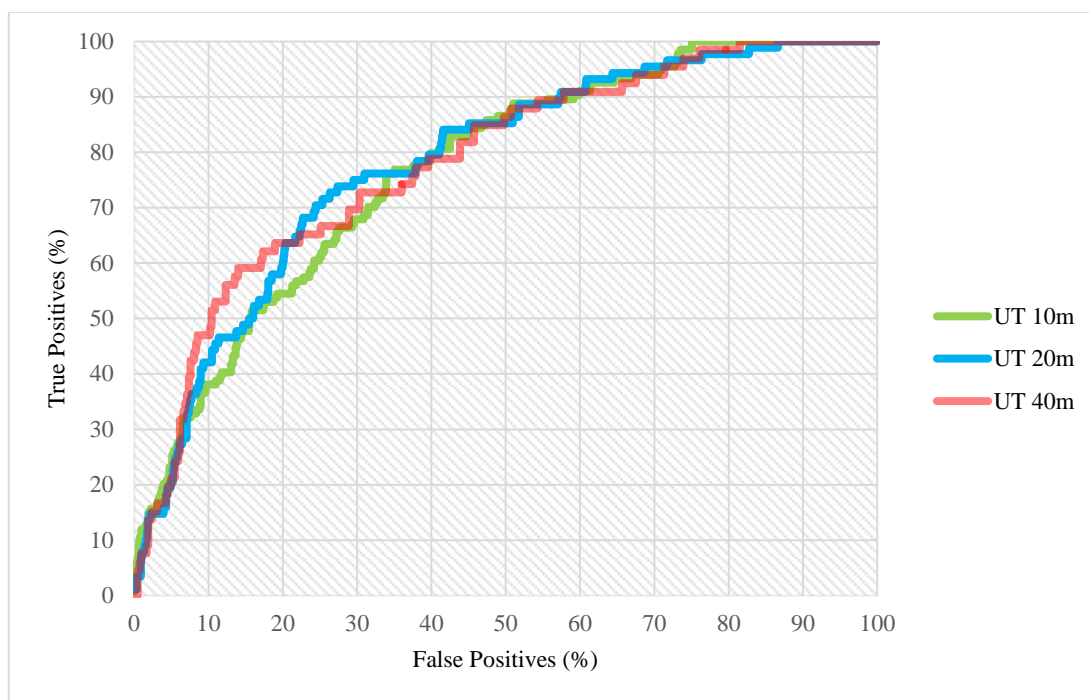


Gráfico 7.27 - Curvas ROC para as três unidades de terreno com AAC mais elevada, neste caso pertencente às unidades de 40 m.

7.1.3.2.2 Validação Curvas ROC de Predição

A validação das curvas de predição foi realizada mediante a substituição do conjunto de movimentos entre 1947 e 1980 pelos movimentos inventariados entre 1980 e 2010. Foram utilizados os modelos com valores superiores AAC, calculados previamente, para cada dimensão de unidades de terreno, em conformidade com o que foi realizado em 8.1.2.2.2 (Gráfico 7.28 e Tabela 7.24).

Tabela 7.24 – Curvas ROC para as diferentes dimensões de unidades de terreno utilizadas (1947-1980/1980-2010).

Unidades de Terreno (m)	AAC da Curva ROC
10	0.5604
20	0.5732
40	0.6602

Conforme a tabela anterior, novamente as unidades de 10 m mostram uma AAC de predição mais baixa, análogo ao que acontece com para a análise sensítiva. O modelo com capacidade preditiva superior está associado, então, às unidades de terreno de 40 m, com um valor AAC ROC de 0.6602, superior ao modelo de predição calculado para análise sensítiva correspondente ao mesmo inventário.

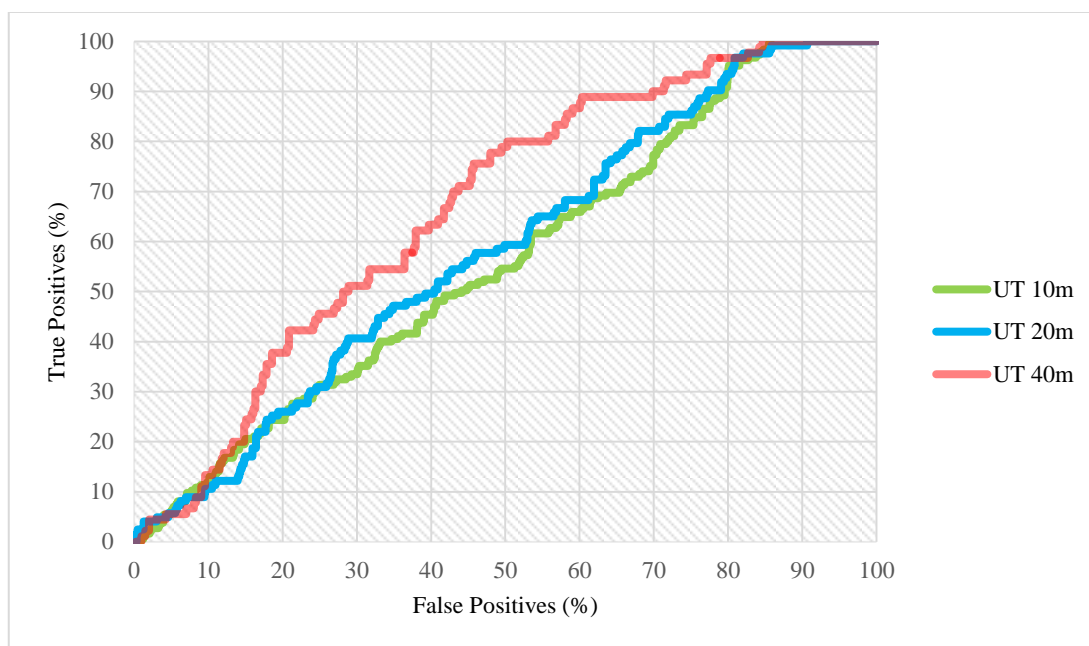


Gráfico 7.28 - Curvas ROC de predição para as três unidades de terreno.

8. Discussão e Cartografia de Susceptibilidade Resultante

Os resultados obtidos permitiram, na generalidade para o inventário de 1947 a 2010, definir como factores mais preponderantes na ocorrência de movimentos, nas três unidades de terreno, e mediante a hierarquização através de análise sensitiva, a litologia, o declive máximo e o declive médio. Todavia, os factores que menos contribuem para a ocorrência de instabilidades, de acordo com o mesmo processo de hierarquização, foram as sapas, as falhas e as exsurgências. Para a média dos valores absolutos a estrutura afigura-se como o factor com mais influência, sendo seguida pela litologia e pelo declive máximo. Por sua vez, define como factores menos importantes a direcção de fluxo máximo e as falhas. Mediante estes resultados, e apesar de ambos os métodos apresentarem factores comuns, a hierarquização é distinta e o melhor exemplo é o factor estrutura, que na média dos valores absolutos apresenta-se como factor mais influente, facto que não acontece na análise sensitiva.

Consoante a hierarquia obtida para cada método para o inventário de 1947 a 2010, ao simular cada um dos modelos de acordo com a adição consecutiva factor a factor, conseguiu-se obter dados de significativa importância. Foi deduzido que os valores gerados pelas AAC, resultantes da adição consecutiva de cada um dos 14 factores, são mais baixos nas três unidades de terreno, em comparação com a AAC calculada pelo somatório dos factores que influenciam positivamente o modelo. No entanto, foi observado que o factor potência média é sempre excluído do somatório final, tanto para a análise sensitiva como para a média dos valores informativos absolutos nas três dimensões de unidades de terreno, confirmando, assim, a sua neutralidade para o cálculo do modelo de susceptibilidade final. Ainda, para o inventário de 1947 a 2010 foi, igualmente, notado que as AAC das curvas de sucesso no global não mostravam uma tendência e um padrão definido para as diferentes unidades de terreno, podendo tal estar associado ao facto do processo estatístico, que relaciona as variáveis para cada célula pertencente a cada uma das dimensões das unidades de terreno, não ser o mais adequado.

O valor final da AAC da curva ROC, associado aos dois processos de hierarquização empregados, mostra valores iguais para as unidades de 10 m e 20 m (Tabela 8.1). A explicação para estes valores idênticos está relacionada com a mesma selecção dos factores que não incrementam a AAC das curvas de sucesso, independentemente da ordem estabelecida para cada método utilizado. No que diz respeito as unidades de 40 m, verifica-se que, para a análise sensitiva, a soma dos factores que contribuem positivamente para o modelo apresenta um valor um pouco mais baixo que os factores segundo a média dos valores informativos absolutos, podendo estar relacionado aqui, ao contrário do que acontece com as unidades de 10 m e 20 m, com discretização dos factores distinta observada para ambos os métodos.

Por meio da validação executada para este inventário foi inferido que, à medida que aumenta o espaçamento das unidades de terreno, os valores relativos às AAC ROC também aumentam, reflectindo do mesmo modo, o resultado obtido pelas taxas de sucesso. Tal é indicativo de que a dimensão das unidades de terreno tem influência no modelo de susceptibilidade final.

Tabela 8.1- AAC da curvas ROC para os dois métodos utilizados correspondentes ao inventário de 1947-2010. A amarelo está assinalado a AAC ROC de sucesso superior.

Inventário 1947-2010		
	AAC da Curva ROC	
Unidades Terreno (m)	Análise Sensitiva	Média dos Valores Informativos Absolutos
10	0.7242	0.7242
20	0.7700	0.7700
40	0.7894	0.7902

De todos os modelos produzidos para o inventário de 1947 a 2010 a escolha do modelo estatístico que permitiu determinar a susceptibilidade a ocorrência de movimentos neste sector costeiro, recaiu, então, para as unidades de terreno de 40 m, cuja análise foi baseada na hierarquia concedida pela Média dos Valores informativos absolutos. Este modelo de susceptibilidade foi gerado por um conjunto de 10 factores e originou uma taxa de uma AAC da curva ROC de 0.7902. O modelo elegido é, segundo a avaliação de Guzzetti (2005), um modelo considerado correcto ($AAC > 0.75$). Contudo, é preciso ter presente que a avaliação utilizada por este autor refere-se, exclusivamente, a movimentos de massa em contexto continental, que no geral, apresentam géneses um pouco distintas, quando comparados com os movimentos de vertente que ocorrem em arribas costeiras.

Outro objectivo em foco foi o cálculo das curvas ROC de predição concernente ao inventário de 1947 a 1980. Portanto, foram empregues os mesmos processos utilizados para o inventário de 1947 a 2010. Para a análise sensitiva as AAC individuais, referentes ao declive médio, litologia e declive máximo, surgiram como factores que influenciam a ocorrência de instabilidades, relegando as sapas como factor menos importante. No entanto, à partida nota-se uma variação geral nos factores nas diversas unidades de terreno, em comparação com a análise sensitiva para o inventário 1947 a 2010. Identicamente, a média dos valores informativos absolutos mostra uma variação na disposição dos factores mais influentes para cada dimensão das unidades de terreno, alternando entre a estrutura, a litologia e a curvatura plana média. No entanto, os factores menos influentes, como as falhas, as sapas e a direcção de fluxo máxima, são constantes.

A adição factor a factor foi realizada para os dois métodos utilizados e forneceu o mesmo resultado que o inventário de 1947 a 2010, ou seja, as AAC calculadas pelo somatório dos factores que influenciam positivamente o modelo é superior às AAC resultantes da adição consecutiva de cada um dos 14 factores nas três unidades de terreno. Notou-se, similarmente, que o factor falhas é comumente caracterizado para as três unidades de terreno, para ambos os métodos, como factor que não contribui para o aumento do modelo.

Analogamente ao que foi verificado para o inventário de 1947 a 2010, foi observado que as AAC das curvas de sucesso para análise sensitiva, no geral, não mostram um comportamento similar quando aumenta a dimensão das unidades de terreno.

Por meio da validação executada para o inventário de 1947 a 1980 foi deduzido que, à medida que aumentava a dimensão das unidades de terreno, em resposta, os valores relativos a AAC ROC tinham comportamentos distintos para os dois métodos (Tabela 8.). Para as unidades de 10 m o modelo de susceptibilidade gerado é idêntico para os dois métodos. No entanto a análise sensitiva aponta as unidades de terreno de 20 m como aquelas que fornecem o modelo de susceptibilidade superior (11 factores), enquanto a média dos valores absolutos assinala as unidades de 40 m (11 factores) como as que apresentam uma AAC superior. Inclusivamente, o valor calculado para esta AAC é mais elevado do que o maior valor do modelo gerado pela média dos valores informativos absolutos. Igualmente, o resultado para este inventário difere daquele gerado pela análise sensitiva executada para o inventário de 1947 a 2010, que aponta a AAC superior para as unidades de 40 m.

Tabela 8.2 – AAC ROC para o inventário correspondente ao intervalo entre 1947 e 1980 para as diferentes unidades de terreno. A amarelo encontra-se a AAC ROC de valor mais elevado.

Inventário 1947-1980		
	AAC Curva ROC	
Unidades Terreno (m)	Análise Sensitiva	Média dos Valores Informativos Absolutos
10	0.7694	0.7694
20	0.7838	0.7813
40	0.7823	0.7821

O modelo de susceptibilidade que apresenta uma AAC ROC de sucesso superior é, então, dado pelas unidades de 20 m o que, segundo Guzzetti (2005), é considerado um modelo aceitável. Consequentemente, foi determinada a AAC ROC de predição com base nos modelos com AAC ROC de sucesso superiores para as três unidades de terreno. As curvas de predição

ROC calculadas não apresentam o mesmo comportamento que as curvas ROC de sucesso. (Tabela 8.3).

Tabela 8.3 - AAC ROC de predição obtidas para a três dimensões de terreno mediante os dois processos de hierarquização utilizados. A amarelo está assinalado o valor com a curva de predição superior

Inventário 1947-1980		
	AAC Curva ROC de Predição	
Unidades Terreno (m)	Análise Sensitiva	Média dos Valores Informativos Absoluto
10	0.5604	0.5604
20	0.5777	0.5732
40	0.6482	0.6602

Verifica-se que, para ambos os métodos, o valor da AAC das ROC de predição aumenta conforme aumenta a dimensão das unidades de terreno. O valor mais elevado está associado às unidades de 40 m, gerado conforme hierarquização fornecida pela média dos valores absolutos. Isto sugere que são as unidades de 40 m que apresentam uma distribuição de movimentos mais próxima aos movimentos ocorridos entre 1980 e 2010. Pode-se acrescentar, igualmente, que este método apresenta resultados com evolução idêntica para os dois inventários, o que não aconteceu com a análise sensitiva.

8.1 Mapa Final de Susceptibilidade

O modelo de susceptibilidade escolhido para esta área de estudo foi o modelo gerado com unidades com 40 m de comprimento de crista de arriba que originou uma AAC da curva ROC de 0.7902, através do somatório de 13 factores. O litoral foi dividido em 6 troços bem delimitados na Figura 8.1. para a apresentação do mapa de susceptibilidade exposto na Figura 8.2, Figura 8.3 e Figura 8.4. O *score* do valor informativo associado foi separado manualmente em 5 classes de susceptibilidade, conforme se pode observar na legenda da referida figura. Portanto, as unidades de terreno que possuem um valor informativo mais alto indicam uma maior susceptibilidade à ocorrência de movimentos. Contrariamente, as unidades que apresentam um valor informativo mais baixo assinalam as áreas pouco susceptíveis à ocorrência de instabilidades.

A comparação entre os mapas com as instabilidades do inventário e os mapas de susceptibilidade produzidos mostram acordo razoável, com a maioria dos troços com instabilidades inventariadas a corresponderem a zonas de susceptibilidade mais elevada.

Neste troço litoral as áreas mais críticas encontram-se a Norte entre a Praia da Vigia e Praia do Seixo e entre a Praia de Santa Rita. A Sul as áreas que suscitam maior preocupação dividem-se entre o Norte da Praia da Peças e a extremidade Sul da área estudada (Praia de Porto Barril) e as Arribas junto à Praia de Cambelas. Em termos de zonas frequentadas a maior preocupação surge, precisamente, entre a Praia do Navio e a Praia do Seixo, devido à ocupação balnear que acontece sazonalmente. As áreas de maior ocupação costeira junto a Santa Cruz, aparentemente, são pouco problemáticas, possivelmente devido às artificializações aí existentes.

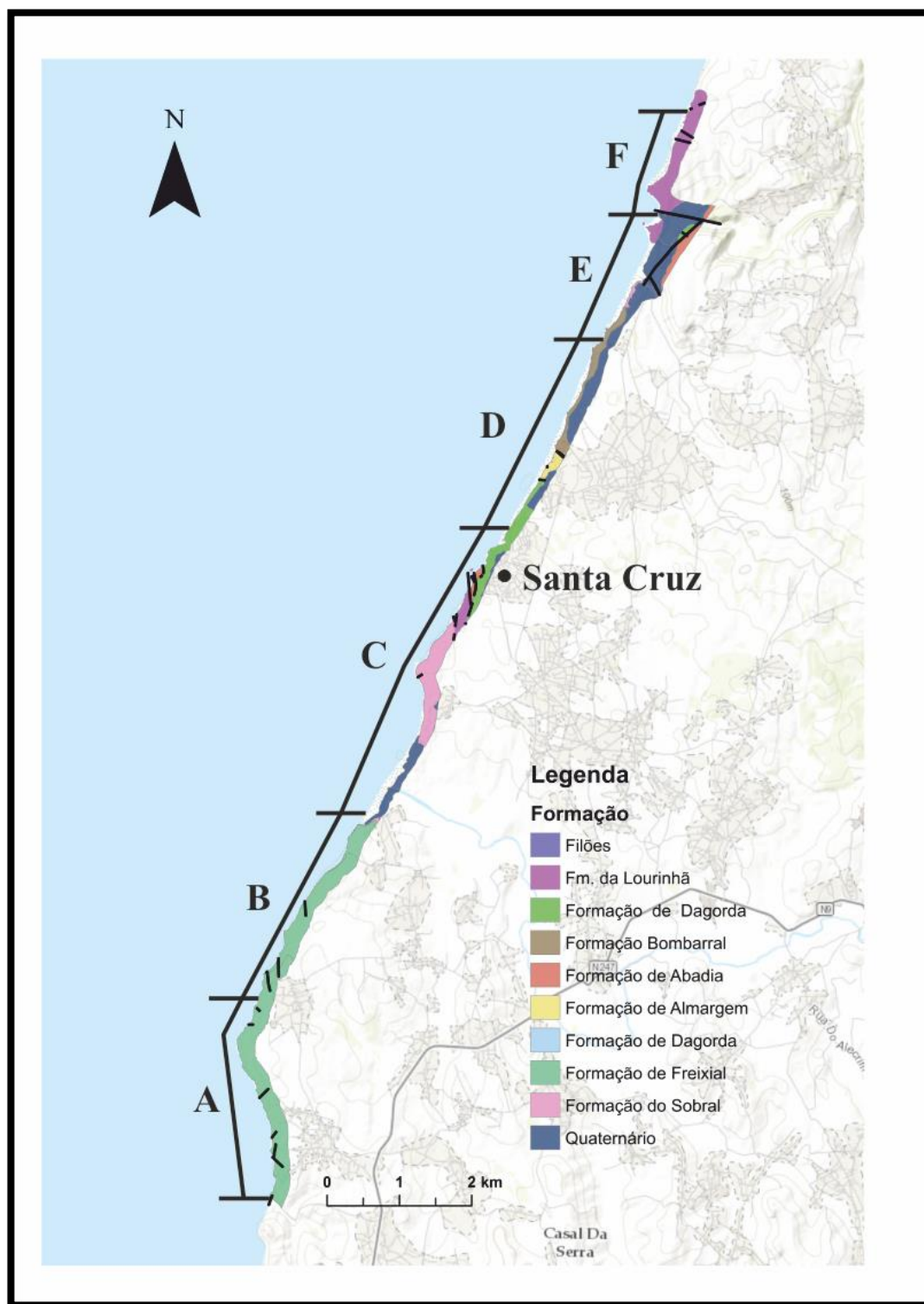


Figura 8.1 Troço costeiro de Torres Vedras com os respectivos sectores referentes ao mapa de susceptibilidade final

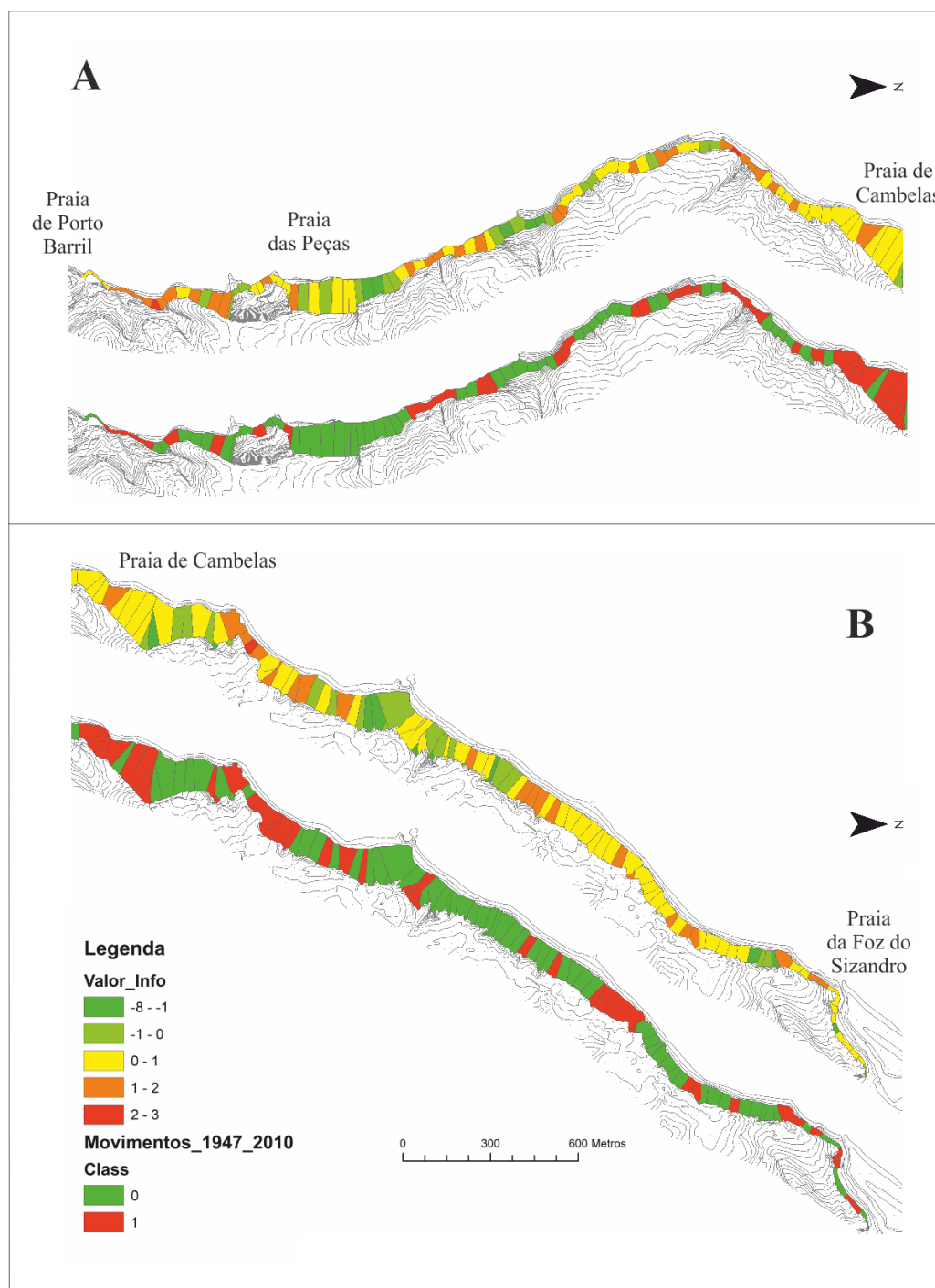


Figura 8.2 – Mapa de susceptibilidade final sector A e B.

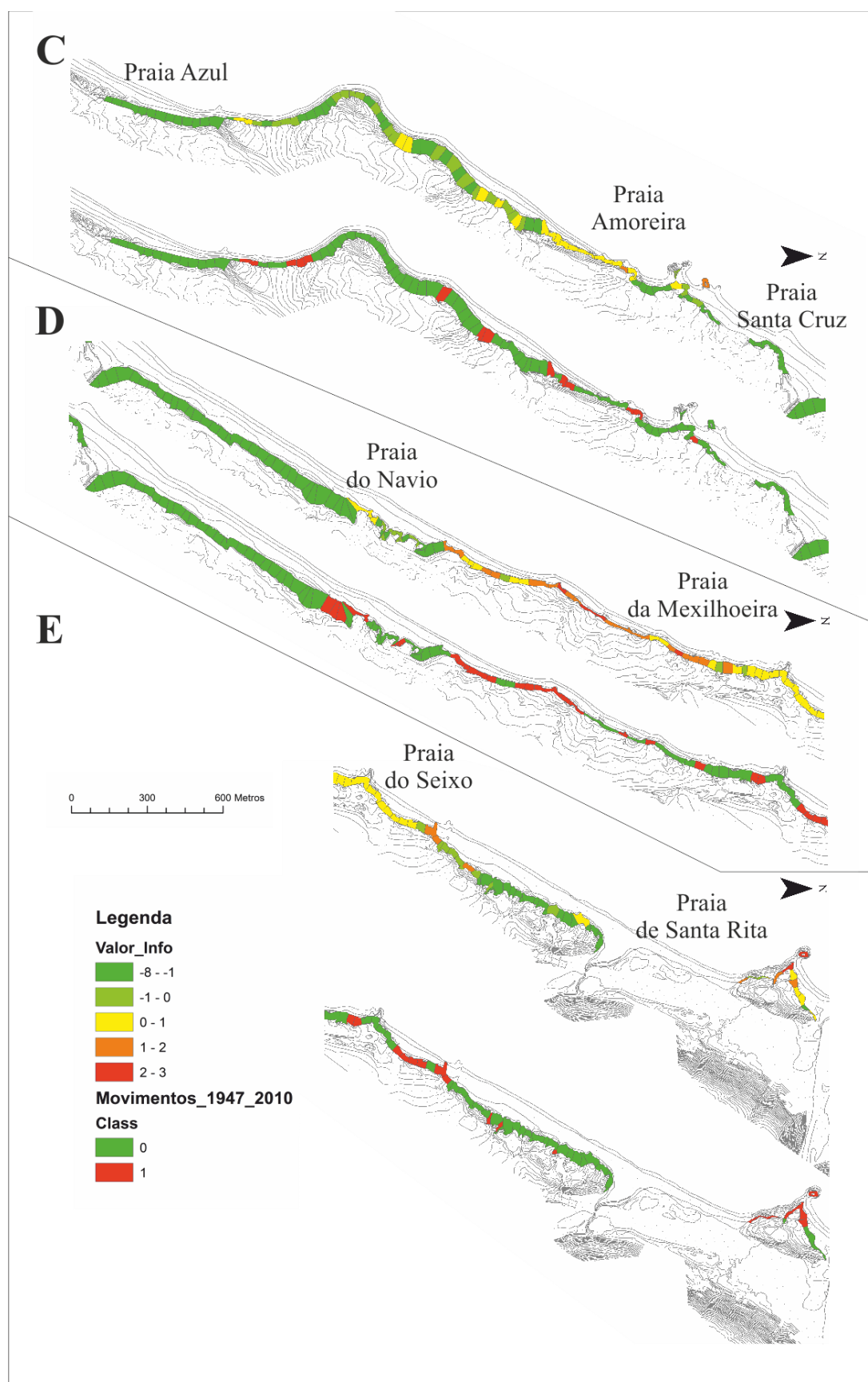


Figura 8.3 – Mapade susceptibilidade , sector C, D e E

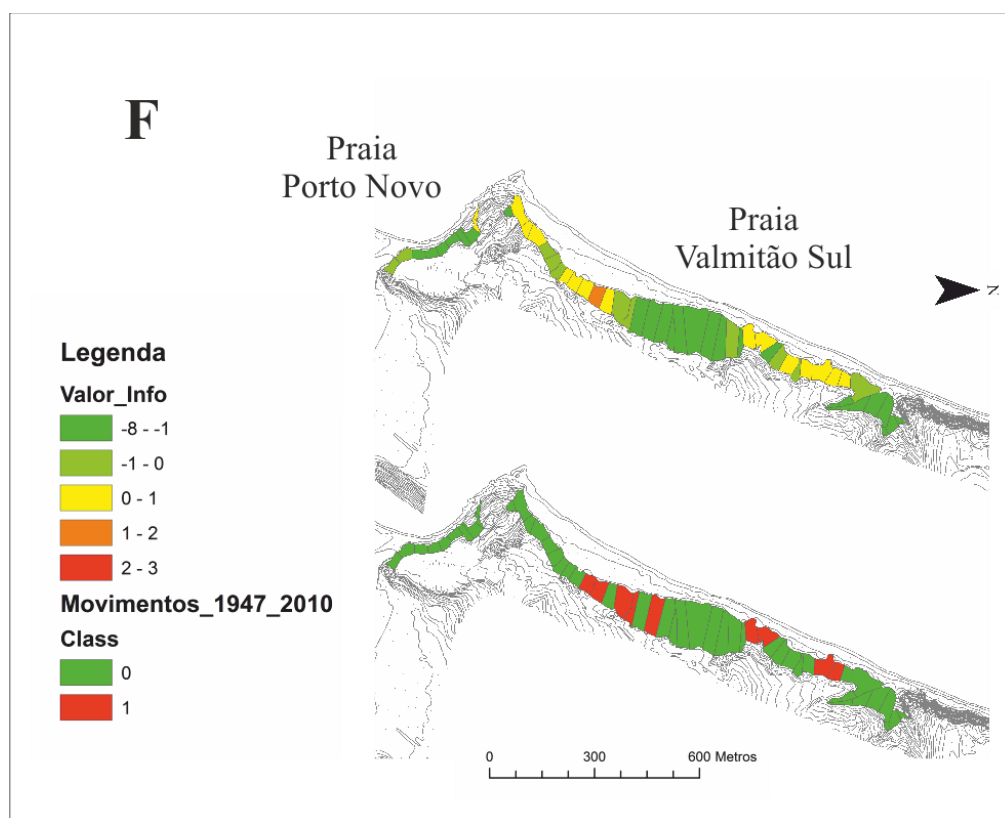


Figura 8.4 - Mapa de susceptibilidade , sector F

9. Conclusão

No contexto geral o troço litoral de Torres Vedras, que se estende ao longo de 16 km de costa, é constituído por sistemas praia-arriba a Norte da Praia da Foz do Sizandro e sistemas arriba com plataforma, blocos e algumas praias encastradas a sul desta. A nível tectónico este sector costeiro está inserido no sector central da Bacia Lusitaniana e está afectado pelo prolongamento da Falha de Torres Vedras, cortado por várias falhas de NW-SE, até a zona de Santa Cruz. A Norte desta povoação toda a área está afectada pela falha da Lourinhã/Torres Vedras. Em termos geológicos este troço inclui-se numa plataforma sedimentar Jurássico-Cretácica, que se encontra condicionada pela instalação do Diapiro de Santa Cruz. É caracterizado, na sua maioria, por rochas detríticas (arenitos, siltitos e alguns conglomerados) em alternância com sequências argilosas, associadas a Formações do Jurássico Superior/Cretácico Inferior, exceptuando o troço entre a Praia de Santa Cruz e Praia do Navio, onde aflora o complexo pelítico carbonatado-evaporítico relativo à Formação da Dagorda (Jurássico Inferior).

O inventário de instabilidades nas arribas ocorridas entre 1947-1980, construído por interpretação de fotografias aéreas abrangendo a totalidade do troço costeiro permitiu quantificar alguns dados relacionados com a evolução das arribas ao longo de 63 anos. Foram identificados 111 movimentos nas arribas que implicaram perda de área horizontal de 4588 m², o que corresponde a cerca de 73 m² de área perdida anualmente. Por sua vez, o recuo anual médio fica-se por uma média de 0.0038 m por ano pelo que estas arribas são claramente de evolução lenta.

O objectivo inicial na realização desta dissertação teve como foco principal a determinação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades nas arribas do litoral do concelho de Torres Vedras, baseada no inventário de instabilidades ocorridas no período 1947-2010 (63 anos) e num conjunto de 14 factores de predisposição, correlacionados pela aplicação do método do valor informativo. A análise foi realizada em unidades de terreno que correspondem a segmentos de arriba que englobam comprimentos iguais de crista, tendo sido realizadas análises separadas para unidades de terreno com 10m, 20m e 40m de comprimento de crista de arriba.

O valor informativo calculado forneceu a AAC ROC de sucesso superior para as unidades de terreno de 40 m de 0.79, com uma combinação no total de 10 factores. Outra meta atingida foi o cálculo das taxas de predição, construindo-se o modelo de susceptibilidade com os movimentos inventariados para o intervalo temporal 1947-1980, sendo a validação realizada com os movimentos ocorridos entre 1980 e 2010. O resultado final obtido correspondeu à AAC ROC de predição relativa às unidades de terreno de 40m de 0.66, substancialmente inferior ao resultado obtido na curva de sucesso Estes resultados indicam também que a distribuição dos movimentos

não é a mesma para os espaços temporais analisados, visto que apresentam 0,13 de diferença para o AAC ROC de sucesso (0,79 e 0,66) para a mesma dimensão unidades de terreno (40 m). Os resultados em termos de predição são inferiores aos das curvas de sucesso, o que seria de esperar, mas as diferenças verificadas são substanciais e poderão ter resultado de conjugação de aspectos que não foi possível ultrapassar.

Por um lado, é possível que, dado o expectável elevado período de retorno das instabilidades nestas arribas, as amostras de movimentos nas arribas só comecem a ser representativas da evolução global para janelas temporais de monitorização superiores a meio século. Por outro lado, não será de descartar a hipótese de que os factores condicionantes possam ter variado ao longo do tempo, como, por exemplo, a influência das acções antrópicas (construções, sobrecargas, impermeabilização e concentração de escoamento de águas pluviais, vibrações por trânsito de veículos), e também os factores desencadeantes, por variação da frequência de chuvas intensa e de temporais no mar. Estas acções combinadas podem ter modificado o padrão das instabilidades ao longo do tempo, não sendo porém possível, com os dados obtidos nesta dissertação confirmar esta hipótese.,

Durante o processo de análise também foram retiradas as seguintes ilações: verificou-se que a hierarquização utilizada para análise sensitiva é distinta da média dos valores informativos absolutos para os dois inventários; confirmou-se, igualmente que, ao retirar do somatório final os factores que diminuem a AAC de sucesso para cada adição, o valor do modelo final resultante providenciou AAC de sucesso superiores. Consequentemente, no processo de obtenção das curvas de sucesso foi possível deduzir, para os dois inventários, que o número mais elevado de variáveis não se traduz necessariamente em melhores resultados preditivos. Deduz-se simultaneamente que as unidades de 40 m que estão associadas o melhor modelo de susceptibilidade para o inventário de 1947-2010, também geram o melhor modelo de predição associado ao inventário de 1947-1980. Isto indica que a dimensão das unidades tem influência no modelo da susceptibilidade final, neste caso, apresentando uma dependência mais regional que local, confirmando os resultados obtidos por Penacho (2012). O mesmo acontece para o método dos valores informativos absolutos, pois é com este processo de hierarquização que se atinge a maior AAC ROC de sucesso, no caso do inventário de 1947-2010, e de predição referente ao inventário de 1947-1980. Tendo isto em conta pode-se afirmar que a média dos valores informativos absolutos, neste ponto, será o método de hierarquização mais indicado para a análise de susceptibilidade.

Face a estes resultados podemos afirmar que o processo de obtenção do valor informativo é moroso mas oferece resultados simples e fáceis de analisar, fornecendo mapas de susceptibilidade igualmente acessíveis para serem consultados por qualquer pessoa. No entanto, existem outros métodos estatísticos matematicamente mais poderosos, como por exemplo o

método multivariado da regressão logística utilizado por Marques (2013), que têm em conta a dependência existente entre factores (que não acontece com o valor informativo), fornecendo o resultado final para cada unidade de terreno em percentagem de probabilidade. No que toca ao desenvolvimento deste tipo de estudos nas arribas a delimitação dos movimentos por comparação directa das fotografias está sempre associada a erros sistemáticos. O grau de incerteza na área de cada movimento pode ser reduzido através da fotogrametria de fotografias aéreas devidamente georreferenciadas. Outro factor que não foi analisado nesta dissertação e que com certeza terá influência no comportamento no maciço rochoso é as famílias de descontinuidades existentes e sua distribuição no espaço. As famílias de descontinuidades podem se intersectar no espaço o que conjugadas com a exposição da arriba podem despoletar movimentos de vertente, sendo portanto importantes numa análise de susceptibilidade. Contudo o processo de aquisição de dados relativos às descontinuidades é exaustivo e dificilmente exequível em estudos à escala regional.

10. Bibliografia

Antonini, G., Ardizzone, F., Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F. e Reichenbach, P. (2002). Surface Deposits and Landslide Inventory Map of the Area Affected by the 1997 Umbria–Marche Earthquakes. *Bollettino della Societa Geologica Italiana*, 121 (2): 843– 853.

Ayala Carcedo, F.J. e Andreu Posse, F.J. (1991). *Manual de Ingenieria de Taludes*. Instituto Tecnológico Geominero de España, Madrid, 456 pp.

Bell, D.H. e Pettinga, J.R. (1988) - Bedding-Controlled Landslides in New Zealand Soft Rock Terrain. *Proc. 5th International Symposium on Landslides*, Lausanne, pp. 77-83.

Bird, F. (1990) – Cliff Hazards and Coastal Management, *Journal Coastal Research*, 12: 299-309.

Bird, F. (2000). *Coastal Geomorphology, An Introduction*. John Wiley & Sons, Chicester, 322 pp.

Braga, A.C.S. (2003) - Curvas ROC: Aspectos funcionais e aplicações. Tese de Doutoramento, *Universidade do Minho*, 207 pp.

By, A., Knippers, R. A., Sun, Y., Ellis, M. C., Kraak, M., Weir, M. J. C., Georgiadou, Y., Radwan, M. M., van Westen, C. J., Kainz, W. e Sides, E. J. (2001) - Principles of Geographic Information Systems:, Second Edition - *ITC Educational Textbook Series 1*, p. 490.

Carrara, A., 1983 - Multivariate Models for Landslide Hazard Evaluation, *Mathematical Geology*, 15 (3): 403–426.

Carrara, A. e Guzzetti, F. (1995). *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*, Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 353 pp.

Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Estevão, M., Zêzere, J., Dias de Teran, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. e Gonzalez, A. (1996). Debris Flow. *in* Wiley, Dikau, R., Brundsen, D., Schrott, L. (Ed.), *Landslide Recognition*, New York, pp. 161-180.

Correia, F., Dias, J.A., Boski, T. (1994). The retreat of Eastern Quarteira cliffed coast and its possible causes (preliminary results). *Gaia* (Lisboa), 9:119-122.

Correia, F., Dias, J.A., Boski, T., Ferreira, O Â, (1996). The retreat of the Eastern Quarteira cliffed coast (Portugal) and its possible causes. *in* Jones, P.S., Healy, M.G., Williams, A.T. (Ed.), *Studies in Coastal Management, Samara Publications*, Cardigan, UK, pp. 129-136.

Cruden, D. M. (1991). A Simple Definition of a Landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43: 27-29.

Daveau, S. (1973). Quelques Exemples d'Evolution Quaternaire des Versants au Portugal, *Finisterra*, 8: 1-47.

De Blasio, F. (2011) – *Introduction to the Physics of Landslides*. Lectures Notes on the Dynamics of Mass Wasting

Dias, J., Boski, T., Rodrigues A., Magalhães, F. (2000). Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until Present – a synthesis. *Marine Geology*, 177-186.

Duncan, J. (1996). Soil Slope Stability Analysis. *in*: Turner, A. e Schuster, R. (Eds.). *Landslides - Investigation and Mitigation*, Special Report 247, Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C., pp. 337-371

Eckersley, J.D. (1990) - Instrumented Laboratory Flowslides. *Geotechnique*, 40 (3):489-502.

Egan, J. P. (1975) - Signal Detection Theory and ROC Analysis, New York, *Academic Press*.

Emery, K.O., e Kuhn, G.G. (1982) - Sea Cliffs: Their Processes, Profiles and Classifications. *Geological Society of American Bulletin*, 93: 644-654.

Fell, R., Hungr, O., Leroueil, S. e Reimer, W. (2000). Keynote Lecture - Geotechnical Engineering of the Stability of Natural Slopes and Cuts and Fills in Soil. Procs. GeoEng2000, *International Conference on Geotechnical and Geological Engineering*, Melbourne, Australia, pp.104

Ferreira, Ó. e Dias, J.M.A, (1991). Evolução Recente de alguns Troços do Litoral entre Espinho e o Cabo Mondego. *Actas do 28 Simpósio sobre a Protecção e Revalorização da Faixa Costeira do Minho ao Liz*, Porto, pp. 85-95.

Ferreira, O Â., Dias, J.M.A., (1992). Dune erosion and shoreline retreat between Aveiro and Cape Mondego (Portugal): prediction of future evolution. *Proceedings of the International Coastal Congress*, Kiel, pp. 187-200.

Flageollet, Jean-Claude (1989) – Les Mouvements de Terrain et leur Prévention, *Masson*, Paris.

Freire, P.; Oliveira, F.; Larangeiro, S. (2002). Short-term Morphodynamics of Buarcos beach, West coast of Portugal. *Littoral 2002, The Changing Coast*, Porto, Portugal, pp. 375-380

Freitas, M.H. e Watters, R.J. (1973). Some field examples of Toppling failure. *Geotechnique*, 23: 494-513

Goodman, R. E. e Bray, J. W. (1976). Toppling of Rock Slopes, *Proceedings Speciality. Conference on Rock Engineering for Foundations and Slopes*, ASCE, Boulder, Colorado, 2: 201-204.

Gorsevski, P.V., Gessler, P.E., Foltz, R.B. e Elliot, W.J. (2006). Spatial Prediction of Landslide Hazard using Logistic Regression and ROC analysis. *Transactions in GIS*, 10: 395-415.

Griffiths, J.S. (2005) – Landslides. In: *Geomorphology for Engineers*, Fookes, P.G., Lee, M.E. and Milligan, G. (Eds.), Whittles Publishing, Dunbeath, Caithness, 173–217.

Guzzetti, F. (2005). Landslide Hazard and Risk Assessment, Tese de Doutorado, Mathematik-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Rheinischen Friedrich Wilhelms, *Universität Bonn*, 389 pp.

Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P. e Carrara, A. (2000). Comparing Landslide Maps: a Case Study in the Upper Tiber River Basin, Central Italy. *Environmental Management*, 25 (3): 247–363.

Highland, L. M. e Bobrowsky, P. (2008). *The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides*, U.S. Geological Survey, Circular 1325, Reston, Virginia, p. 129 pp.

Hutchinson, J. N. (1988) - General Report: Morphological and Geotechnical Parameters of Landslides in Relation to Geology and Hydrogeology, in Bonnard, C., Balkema, Rotterdam (Ed.) *Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, pp. 3-35.

Jenson, S e Domingue, J. (1988). Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 54 (11): 1593-1600.

King, J. (1999) - Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, *Personal Communication*.

Kullberg, J. C. (2000). Evolução tectónica mesozóica da Bacia Lusitaniana. Tese de Doutoramento, *Universidade Nova Lisboa*, 361 pp.

Kullberg, J. C. e. Machado S. (2006) – Cartografia geológica do Mesozóico na AML e aspectos relativos à normalização. in C. N. Costa (Ed.), *Cartografia geológica aplicada a áreas urbanas: o caso da Área Metropolitana de Lisboa*, pp. 49-61.

Kullberg, J. C., Rocha, R. B., Soares, A. F., Rey, J., Terrinha, P., Callapez, P. e Martins, L. (2006). A Bacia Lusitaniana: Estratigrafia, Paleogeografia e Tectónica. in R. Dias, A. Araújo, P. Terrinha e J. C. Kullberg (Ed.), *Geologia de Portugal no contexto da Ibéria*, Universidade Évora, pp. 317-368.

Lee, S. e Min, K. (2001). Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yongin, Korea. *Environ. Geol.*, 40: 1095–1113.

Leóne, F. (1996) - Concept de Vulnérabilité Appliqué a l'Évaluation des Risques Générés par les Phénomènes de Mouvements de Terrain, Orléans, Éditions BRGM.

Manuppella, G., Antunes, M. T., Pais, J., Ramalho, M. M. e Rey, J. (1999). *Carta Geológica de Portugal à escala 1/50000, Folha 30-A, Lourinhã, com Notícia Explicativa*, 2ª edição, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa, 83 pp.

Marques, F. (1991). Importância dos movimentos de massa na evolução de arribas litorais do Algarve. *Memórias e Notícias*, Publ. Mus. Lab. Mineral. Geolo., 112: 295-411;

Marques, F. (2009). Sea cliff instability hazard prevention and planning: examples of practice in Portugal. *Journal of Coastal Research*, 56: 856 – 860.

Marques, F. (1997). As arribas do litoral do Algarve. Dinâmica, processos e mecanismos. Dissertação de Doutoramento. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 556 pp.

Marques, F. M. S. F. e Andrade, C. F. (2009) – *Parecer sobre risco associado às arribas do Algarve*, Administração da Região Hidrográfica do Algarve, I.P. Centro de Geologia da Universidade de Lisboa

Marques, F. M. S. F., Matildes, R. e Redweik, P. (2011). Statistically based sea cliff instability hazard assessment of Burgau-Lagos coastal section (Algarve, Portugal). *Journal of Coastal Research*, 64: 927-931

Marques, F. M. S. F., R. Matildes, e Redweik, P. (2013). Sea cliff instability susceptibility at regional scale: a statistically based assessment in southern Algarve, Portugal. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.* 1: 1965–2003.

Montenat, C., Guéry, F., Jamet, M. e Berthou, P. (1988). Mesozoic evolution of the Lusitanian Basin: comparison with the adjacent margin. *Proc. O.D.P.*, Sci. Res, 103:757-775,.

Neves, M. R. N. (2004). Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia. Tese de Doutoramento em Geografia Física, *Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*, 554 pp

Penacho, N. (2012). *Caracterização, evolução e análise de susceptibilidade à ocorrência de instabilidades das arribas do arco Baleal- Bom Sucesso (Peniche-Óbidos)*. Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 122 pp

Pereira, S. (2010). Perigosidade a Movimentos de Vertente na Região Norte de Portugal, Tese Doutoramento, *Faculdade de Letras da Universidade do Porto*, 372 pp.

Pires, H. Oliveira (1989) - *Alguns aspectos do clima de agitação marítima de interesse para a navegação na costa de Portugal*, O Clima de Portugal, Fasc. XXXVII, vol. 2, Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa, 34 p.

Popescu, M. E. (1994). A Suggested Method for Reporting Landslide Causes, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 50: 71-74.

Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., Candan, G., e Moezzi, K. D. (2012) - Landslide Susceptibility Mapping Using a Spatial Multi Criteria Evaluation Model at Haraz Watershed, Iran, in Springer-Verlag Berlin Heidelberg (Ed.), *Terrigenous Mass Movements: Detection, Modelling, Early Warning and Mitigation Using Geoinformation Technology*, Vol. 8, pp. 23-49.

Queiroz, S. (2012). *Avaliação da susceptibilidade à ocorrência de instabilidades em arribas no concelho de Maфра*. Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 120 pp

Reis, R. e Gonçalves, M. (1981). Caracterização climática da região agrícola do Ribatejo e Oeste. *O Clima de Portugal*, Fascículo XXXII, INMG, 194 pp.

Reis, R.P., Pimentel, N.L. e Bueno, G.V. (2008). *III Curso de Campo na Bacia Lusitânica – Roteiro*. 3ª Edição, Coimbra, 136 pp.

Rey, J. (1993). Les unités lithostratigraphiques du groupe de Torres Vedras (Estremadura, Portugal). *Commun. Inst. Geol. e Mineiro*, 79: 75-85.

Rib, H.T. e Liang, T. (1978). Recognition and Identification, In: Landslide Analysis and Control, Transportation Research Board Special Report, *National Academy of Sciences*, Washington, 176: 34–80.

Ribeiro, A. (coord.) *et al.* (1996). Tectonics of the Lusitanian Basin. Final Report, Proj. MILUPOBAS, Contract nº JOU2-CT94-0348, ICTE/GG/GeoFCUL, Lisboa, vol. I + anexos.

Ribeiro, A., Kullberg, M. C., Kullberg, J. C., Manuppella, G. e Phipps, S. (1990). A review of Alpine Tectonics in Portugal: Foreland Detachment in Basement and Cover Rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.

Rocha, R. B. e Soares, A. F. (1984). Algumas Reflexões sobre a Sedimentação Jurássica na Orla Meso-Cenozóica Ocidental de Portugal, *Mem. Notícias*, 97: 133-142,.

Rodrigues, M.L. (1998) - Evolução Geomorfológica Quaternária e Dinâmica Actual: Aplicações ao Ordenamento do Território – Exemplos no Maciço Calcário Estremenho. Tese de Doutoramento, *Universidade de Lisboa*.

Sirieys, P. (1984) – Divers Types de Mecanismes de Mouvements de Terrains. *Mouvements de Terrain*, Paris, 83: 75-80.

Sharpe, C.F.S. (1938) - Landslides and Related Phenomena. *Columbia University Press*, N.Y.

Shroder, J. F. (1971) – Landslides of Utah, Bulletin 90, *Utah Geological and Mineralogical Survey*, p. 50.

Skempton, A. W. e Hutchinson, J. N. (1969) - Stability of Natural Slopes and Embankment Foundations, *Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Mexico City, pp. 291–340.

Soeters, R. e Van Westen, C. J. (1996). Slope instability recognition, analysis and zonation. in Turner, A. K., and Schuster, R. L. (Ed.) *Landslides, Investigation and Mitigation*, National Academy Press, Washington DC, USA, pp. 129–177,

Sunamura, T. (1992). *Geomorphology of Rocky Coasts*: John Wiley and Sons, New York, , 302pp

Swets, J. A. (1988). Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems. *Science*, 240: 1285–1293.

Swets, J. A. (1996). *Signal Detection Theory and ROC Analysis in Psychology and Diagnostics*, Collected Papers, New Jersey , 308 pp.

Teixeira, M. (2005). Movimentos de Vertente: Factores de Ocorrência e Metodologia de Inventariação. *Geonovas*, 19: 95-106.

Terzaghi, K. (1950). Mechanisms of Landslides, Application of Geology to Engineering Practice, *Geol. Soc. America*, pp. 83-123.

Terzaghi, K., (1950) – Mechanism of landslides. In: Paige, S. (Ed.), *Application of Geology to Engineering Practice*. The Geological Society of America, Engineering Geology, Berkeley, pp. 83–123.

Trindade, J. M. R. (2001) - Evolução Geomorfológica do Sector Terminal da Bacia do Rio Alcabrichel, (A-dos-Cunhados –Praia de Porto Novo)–Lourinhã, Tese de Mestrado, *Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*, p. 117.

Vallejo L., Ferrer M., Ortuño L. e Oteo C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Pearson Educación, Madrid, 744 pp

Van Westen, C., J. (2001) – The modeling of Landslide Hazards Using GIS. *Surveys in Geophysics*. Kluwer Academic Publishers, Netherlands. pp. 241-255

Van Zuidam, R.A. (1985). *Aerial Photo-interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), The Hague, 442 pp.

Varnes, D.J. (1958). Landslide Types and Processes. In Special Report 29: *Landslides and Engineering Practice*. Ed. E. B. Eckel, Highway Research Board, National Research Council, Washington, D. C., pp. 20-47.

Varnes, D.J. (1978). Slope Movement Types and Processes. In: Schuster, R e Krizek, R (Ed.) – *Landslides – Analysis and Control*, Special Rep.176, Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, DC, pp. 11-33.

Varnes, D.J. and IAEG (International Association for Engineering Geology and the Environment) Commission on Landslides and other Mass-Movements (1984). *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO, Paris, 63 pp.

Vasconcelos, M. A. D. F (2011). *Cartografia de susceptibilidade à ocorrência de movimentos de vertente em contexto urbano: o concelho de Lisboa*. Tese de Mestrado, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 212 pp.

WP/WLI (1990). A Suggested Method for Reporting a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 41: 5-12.

WP/WLI (1993). A Suggested Method for Describing the Activity of a Landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 47: 53-57.

Williams, C. J, Lee, S. S., Fisher, R. A. e Dickerman, L. H. (1999). A Comparison of Statistical Methods for Prenatal Screening for Down Syndrome, *Applied Stochastic Models and Data Analysis*,15: 89–101.

Wilson, J.P. e Gallant, J.C. (2000). Digital Terrain Analysis., In: *Terrain Analysis: Principles and Applications*, Wiley, New York, pp. 1-27.

Yan, T.Z. (1988). Recent Advances of Quantitative Prognoses of Landslides in China. *Proceedings of 5th ISL*, , Lausanne, 2: 1263-1268.

Yin, K.L. e Yan, T.Z. (1988). Statistical Prediction Models for Slope Instability of Metamorphosed Rocks, *Proceedings of 5th ISL*, Lausanne 2: 1269-1272.

Zbyszewski, G. (1959). *Étude Structurale de la Vallée Typhonique de Caldas da Rainha (Portugal)*, Mem. Serv. Geol. Portugal, 184 pp.

Zbyszewski, G., Moitinho D'Almeida, F. e Torre de Assunção, C. (1955) - *Carta Geológica de Portugal na Escala 1/50 000, Folha 30-C, Torres Vedras, com Notícia Explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, 33 pp.

Zêzere, J. L. (1997). Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa, Lisboa, Tese de Doutoramento, *Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa*. 575 pp.

Zêzere, J. L. (2000). Rainfall Triggering of Landslides in the North of Lisbon. *Landslides in Research: Theory and Practice*, 3: 1629-1634.

Zêzere, J. (2002). Landslide susceptibility assessment considering landslide typology. A case study in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural hazards and earth System Sciences*, 72-82.

Zêzere, J. L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M. L., Vieira, G. e Ferreira, A. B. (2004). Integration of spatial and temporal data for the definition of different landslide hazard scenarios in the area north of Lisbon (Portugal). *Natural Hazard and Earth System Sciences*, 4: 133-146

Zêzere, J. L., Garcia, R. A. C., Oliveira, S. C. e Reis, E. (2005). Análise sensitiva na avaliação da susceptibilidade a deslizamentos na Região a Norte de Lisboa. *X Colóquio Ibérico de Geografia, A Geografia Ibérica no contexto europeu*, Évora, 15 pp.

Zêzere, J.L.; Oliveira, S.C.; Garcia, R.A.C.; Reis, E. (2008) – Weighting predisposing factors for shallow slides susceptibility assessment at the regional scale in Chen, Z.; Zhang, J.; Li, Z.; Wu, F; Ho, K. (Ed.), *Landslides and Engineered Slopes. From the Past to the Future, Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides*, Taylor & Francis Group, London, pp. 1831-1837.

11. Anexos

Anexo 1

Inventário 1947-2010

Tabela 11.1 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 10m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[12.1 - 23.9]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]23.9 - 27.7]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]27.7 - 30.3]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]30.3 - 34.8]	10	49	142	488	-0.3547	0.3547
	]34.8 - 40.6]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]40.6 - 46.5]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]46.5 - 54.3]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]54.3 - 66.9]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]66.9 - 72.2]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]72.2 - 80.7]	19	48	142	488	0.3077	0.3077
Declive Máximo (m)	[24.2 - 51.2]	5	49	142	488	-1.0479	1.0479
	]51.2 - 57.1]	5	49	142	488	-1.0479	1.0479
	]57.1 - 62.8]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]62.8 - 66.1]	9	49	142	488	-0.4601	0.4601
	]66.1 - 67.7]	15	49	142	488	0.0507	0.0507
	]67.7 - 69.8]	22	49	142	488	0.4337	0.4337
	]69.8 - 71.9]	22	49	142	488	0.4337	0.4337
	]71.9 - 73.8]	21	49	142	488	0.3872	0.3872
	]73.8 - 77.0]	13	48	142	488	-0.0718	0.0718
	]77.0 - 82.2]	23	48	142	488	0.4988	0.4988
Declive Médio (m)	[11.7 - 25.7]	6	49	142	488	-0.8656	0.8656
	]25.7 - 30.2]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]30.2 - 34.2]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]34.2 - 37.3]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]37.3 - 40.0]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]40.0 - 42.6]	23	49	142	488	0.4782	0.4782
	]42.6 - 45.8]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]45.8 - 48.5]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]48.5 - 52.8]	20	48	142	488	0.3590	0.3590
	]52.8 - 64.3]	20	48	142	488	0.3590	0.3590

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Exposição (°)	Flat	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	N	3	11	142	488	-0.0648	0.0648
	NE	1	3	142	488	0.1258	0.1258
	E	1	2	142	488	0.5413	0.5413
	SE	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	2	142	488	0.5313	0.5313
	SW	13	53	142	488	-0.1709	0.1709
	W	56	196	142	488	-0.0183	0.0183
	NW	69	221	142	488	0.0704	0.0704
Curvatura Planta Média	-2	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	-1	8	22	142	488	0.2229	0.2229
	0	132	452	142	488	0.0036	0.0036
	1	2	14	142	488	-0.7114	0.7114
	2	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
Direcção de Fluxo Média	[6.2 - 13.2]	14	49	142	488	-0.0183	0.0183
	]13.2 - 16.0]	11	49	142	488	-0.2594	0.2594
	]16.0 - 18.4]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]18.4 - 21.4]	15	49	142	488	0.0507	0.0507
	]21.4 - 25.6]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]25.6 - 28.2]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]28.2 - 30.8]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]30.8 - 33.1]	16	49	142	488	0.1153	0.1153
	]33.1 - 39.7]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]39.7 - 112.8]	10	48	142	488	-0.3341	0.3341
Direcção de Fluxo Máxima	[8 - 16]	13	34	142	488	0.2731	0.2731
	]17 - 32]	32	106	142	488	0.0368	0.0368
	]33 - 64]	62	223	142	488	-0.0455	0.0455
	]65 - 128]	35	125	142	488	-0.0385	0.0385
Litologia	Arenitos	17	28	142	488	0.7355	0.7355
	Arenitos e Argilas	24	70	142	488	0.1640	0.1640
	Arenitos e Conglomerados	0.99	3	142	488	0.1258	0.1258
	Arenitos e Pelitos	16	77	142	488	-0.3367	0.3367
	Arenitos, Argilas e Margas	2	7	142	488	-0.0183	0.0183
	Arenitos, Margas e Pelitos	51	115	142	488	0.4214	0.4214
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	37	142	488	-2.3865	2.3865
	Margas e Arenitos	1	12	142	488	-1.2504	1.2504
	Margas, Argilas e Arenitos	8	52	142	488	-0.6373	0.6373
	Pelitos e Arenitos	23	87	142	488	-0.0959	0.0959
Estrutura	A Favor do Declive	32	116	142	488	-0.0534	0.0534
	Contra o Declive	80	236	142	488	0.1527	0.1527
	Paralelo ao Declive	30	99	142	488	0.0406	0.0406
	Variável	0.99	37	142	488	-2.3865	2.3865

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Falhas	Presente	19	60	142	488	0.0846	0.0846
	Ausente	123	428	142	488	-0.0125	0.0125
Protecção Sopé	Blocos	6	15	142	488	0.3182	0.3182
	Plataforma	3	10	142	488	0.0305	0.0305
	Plataforma com Blocos	21	71	142	488	0.0163	0.0163
	Praia	33	165	142	488	-0.3749	0.3749
	Praia com Blocos	24	57	142	488	0.3695	0.3695
	Praia com Detritos de Movimentos	10	36	142	488	-0.0464	0.0464
	Praia com Estruturas Antrópicas	11	51	142	488	-0.2994	0.2994
	Praia com Plataforma	34	80	142	488	0.3788	0.3788
	Praia e Dunas	0.99	3	142	488	0.1258	0.1258
Exsurgências	Presente	17	35	142	488	0.5124	0.5124
	Ausente	125	453	142	488	-0.0531	0.0531
Sapas	Presente	19	40	142	488	0.4900	0.4900
	Ausente	123	448	142	488	-0.0581	0.0581
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	12	64	142	488	-0.4395	0.4395
	]19117.9 - 19547.5]	15	51	142	488	0.0107	0.0107
	]19547.5 - 20004.3]	16	49	142	488	0.1153	0.1153
	]20004.3 - 20532.7]	15	62	142	488	-0.1846	0.1846
	]20532.7 - 20857.5]	14	52	142	488	-0.0777	0.0777
	]20857.5 - 21608.0]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]21608.0 - 23625.7]	18	56	142	488	0.0995	0.0995
	]23625.7 - 24955.7]	14	40	142	488	0.1847	0.1847
	]24955.7 - 26027.5]	14	34	142	488	0.3472	0.3472
	]26027.5 - 27253.6]	13	32	142	488	0.3337	0.3337

Tabela 11.2- Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 20m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[11,9 - 23.3]	17	97	204	969	-0.1834	0.1834
	]23.3 - 26.5]	22	97	204	969	0.0745	0.0745
	]26.5 - 30.0]	16	97	204	969	-0.2440	0.2440
	]30.0 - 33.4]	17	97	204	969	-0.1834	0.1834
	]33.4 - 40.1]	16	97	204	969	-0.2440	0.2440
	]40.1 - 46.2]	24	97	204	969	0.1615	0.1615
	]46.2 - 53.4]	22	97	204	969	0.0745	0.0745
	]53.4 - 66.0]	25	97	204	969	0.2023	0.2023
	]66.0 - 72.0]	15	97	204	969	-0.3085	0.3085
	]72.0 - 80.7]	30	96	204	969	0.3950	0.3950
Declive Máximo (m)	[20.8 - 47.4]	3	97	204	969	-1.9180	1.9180
	]47.4 - 54.2]	12	97	204	969	-0.5317	0.5317
	]54.2 - 59.2]	12	97	204	969	-0.5317	0.5317
	]59.2 - 63.0]	15	97	204	969	-0.3085	0.3085
	]63.0 - 66.0]	20	97	204	969	-0.0208	0.0208
	]66.0 - 67.9]	21	97	204	969	0.0280	0.0280
	]67.9 - 70.1]	29	97	204	969	0.3507	0.3507
	]70.1 - 72.2]	34	97	204	969	0.5098	0.5098
	]72.2 - 75.6]	31	97	204	969	0.4174	0.4174
	]75.6 - 82.2]	27	96	204	969	0.2896	0.2896
Declive Médio (m)	[10.4 - 25.3]	10	97	204	969	-0.7140	0.7140
	]25.3 - 29.8]	7	97	204	969	-1.0707	1.0707
	]29.8 - 33.9]	17	97	204	969	-0.1834	0.1834
	]33.9 - 37.1]	19	97	204	969	-0.0721	0.0721
	]37.1 - 40.3]	18	97	204	969	-0.1262	0.1262
	]40.3 - 42.6]	32	97	204	969	0.4492	0.4492
	]42.6 - 46.2]	23	97	204	969	0.1189	0.1189
	]46.2 - 48.9]	26	97	204	969	0.2415	0.2415
	]48.9 - 53.3]	20	97	204	969	-0.0208	0.0208
	]53.3 - 65.8]	32	96	204	969	0.4595	0.4595
Exposição (°)	Flat	0	0	204	969	#DIV/0!	#DIV/0!
	N	8	36	204	969	0.0541	0.0541
	NE	2	19	204	969	-0.6931	0.6931
	E	1	3	204	969	0.4595	0.4595
	SE	0	0	204	969	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	6	204	969	-0.2336	0.2336
	SW	21	112	204	969	-0.1158	0.1158
	W	80	375	204	969	0.0132	0.0132
	NW	91	418	204	969	0.0335	0.0335

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Curvatura Planta Média	-2	0.99	5	204	969	-0.0613	0.0613
	-1	28	94	204	969	0.3471	0.3471
	0	162	808	204	969	-0.0488	0.0488
	1	14	61	204	969	0.0863	0.0863
	2	0.99	1	204	969	1.5481	1.5481
Direcção de Fluxo Média	[4.1 - 11.9]	22	97	204	969	0.0745	0.0745
	]11.9 - 15.8]	13	97	204	969	-0.4516	0.4516
	]15.8 - 17.2]	20	97	204	969	-0.0208	0.0208
	]17.2 - 20.5]	22	97	204	969	0.0745	0.0745
	]20.5 - 24.4]	26	97	204	969	0.2415	0.2415
	]24.4 - 28.2]	27	97	204	969	0.2793	0.2793
	]28.2 - 31.0]	19	97	204	969	-0.0721	0.0721
	]31.0 - 33.4]	17	97	204	969	-0.1834	0.1834
	]33.4 - 40.9]	23	97	204	969	0.1189	0.1189
	]40.9 - 124.3]	15	96	204	969	-0.2982	0.2982
Direcção de Fluxo Máxima	[8 - 16]	26	110	204	969	0.1158	0.1158
	]17 - 32]	59	271	204	969	0.0336	0.0336
	]33 - 64]	88	421	204	969	-0.0072	0.0072
	]65 - 128]	31	167	204	969	-0.1259	0.1259
Litologia	Arenitos	30	57	204	969	0.9163	0.9163
	Arenitos e Argilas	33	137	204	969	0.1347	0.1347
	Arenitos e Conglomerados	0.99	5	204	969	-0.0613	0.0613
	Arenitos e Pelitos	21	153	204	969	-0.4278	0.4278
	Arenitos, Argilas e Margas	3	14	204	969	0.0177	0.0177
	Arenitos, Margas e Pelitos	72	227	204	969	0.4099	0.4099
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	73	204	969	-2.7424	2.7424
	Margas e Arenitos	2	26	204	969	-1.0068	1.0068
	Margas, Argilas e Arenitos	11	105	204	969	-0.6979	0.6979
	Pelitos e Arenitos	32	172	204	969	-0.1236	0.1236
Estrutura	A Favor do Declive	50	230	204	969	0.0321	0.0321
	Contra o Declive	115	473	204	969	0.1440	0.1440
	Paralelo ao Declive	39	193	204	969	-0.0410	0.0410
	Variável	0.99	73	204	969	-2.7424	2.7424
Falhas	Presente	19	93	204	969	-0.0300	0.0300
	Ausente	185	876	204	969	0.0031	0.0031

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Protecção Sopé	Blocos	11	30	204	969	0.5548	0.5548
	Plataforma	4	20	204	969	-0.0513	0.0513
	Plataforma com Blocos	30	144	204	969	-0.0105	0.0105
	Praia	49	334	204	969	-0.3612	0.3612
	Praia com Blocos	33	111	204	969	0.3451	0.3451
	Praia com Detritos de Movimentos	12	70	204	969	-0.2054	0.2054
	Praia com Estruturas Antrópicas	13	97	204	969	-0.4516	0.4516
	Praia com Plataforma	52	158	204	969	0.4468	0.4468
	Praia e Dunas	0.99	5	204	969	-0.0613	0.0613
Exsurgências	Presente	9	36	204	969	0.1719	0.1719
	Ausente	195	933	204	969	-0.0073	0.0073
Sapas	Presente	15	52	204	969	0.3150	0.3150
	Ausente	189	917	204	969	-0.0212	0.0212
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	18	124	204	969	-0.3718	0.3718
	]19117.9 - 19547.5]	20	105	204	969	-0.1001	0.1001
	]19547.5 - 20004.3]	22	98	204	969	0.0642	0.0642
	]20004.3 - 20532.7]	22	122	204	969	-0.1548	0.1548
	]20532.7 - 20857.5]	23	101	204	969	0.0785	0.0785
	]20857.5 - 21608.0]	15	96	204	969	-0.2982	0.2982
	]21608.0 - 23625.7]	25	114	204	969	0.0408	0.0408
	]23625.7 - 24955.7]	21	78	204	969	0.2460	0.2460
	]24955.7 - 26027.5]	18	66	204	969	0.2589	0.2589
	]26027.5 - 27253.6]	20	65	204	969	0.3795	0.3795

Tabela 11.3- Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 40m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[12.1 - 23.9]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]23.9 - 27.7]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]27.7 - 30.3]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]30.3 - 34.8]	10	49	142	488	-0.3547	0.3547
	]34.8 - 40.6]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]40.6 - 46.5]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]46.5 - 54.3]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]54.3 - 66.9]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]66.9 - 72.2]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]72.2 - 80.7]	19	48	142	488	0.3077	0.3077
Declive Máximo (m)	[24.2 - 51.2]	5	49	142	488	-1.0479	1.0479
	]51.2 - 57.1]	5	49	142	488	-1.0479	1.0479
	]57.1 - 62.8]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]62.8 - 66.1]	9	49	142	488	-0.4601	0.4601
	]66.1 - 67.7]	15	49	142	488	0.0507	0.0507
	]67.7 - 69.8]	22	49	142	488	0.4337	0.4337
	]69.8 - 71.9]	22	49	142	488	0.4337	0.4337
	]71.9 - 73.8]	21	49	142	488	0.3872	0.3872
	]73.8 - 77.0]	13	48	142	488	-0.0718	0.0718
	]77.0 - 82.2]	23	48	142	488	0.4988	0.4988
Declive Médio (m)	[11.7 - 25.7]	6	49	142	488	-0.8656	0.8656
	]25.7 - 30.2]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]30.2 - 34.2]	7	49	142	488	-0.7114	0.7114
	]34.2 - 37.3]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]37.3 - 40.0]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]40.0 - 42.6]	23	49	142	488	0.4782	0.4782
	]42.6 - 45.8]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]45.8 - 48.5]	13	49	142	488	-0.0924	0.0924
	]48.5 - 52.8]	20	48	142	488	0.3590	0.3590
	]52.8 - 64.3]	20	48	142	488	0.3590	0.3590
Exposição (°)	Flat	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	N	3	11	142	488	-0.0648	0.0648
	NE	1	3	142	488	0.1258	0.1258
	E	1	2	142	488	0.5413	0.5413
	SE	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	2	142	488	0.5313	0.5313
	SW	13	53	142	488	-0.1709	0.1709
	W	56	196	142	488	-0.0183	0.0183
	NW	69	221	142	488	0.0704	0.0704

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Curvatura Planta Média	-2	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	-1	8	22	142	488	0.2229	0.2229
	0	132	452	142	488	0.0036	0.0036
	1	2	14	142	488	-0.7114	0.7114
	2	0	0	142	488	#DIV/0!	#DIV/0!
Direcção de Fluxo Média	[6.2 - 13.2]	14	49	142	488	-0.0183	0.0183
	]13.2 - 16.0]	11	49	142	488	-0.2594	0.2594
	]16.0 - 18.4]	12	49	142	488	-0.1724	0.1724
	]18.4 - 21.4]	15	49	142	488	0.0507	0.0507
	]21.4 - 25.6]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]25.6 - 28.2]	18	49	142	488	0.2330	0.2330
	]28.2 - 30.8]	17	49	142	488	0.1759	0.1759
	]30.8 - 33.1]	16	49	142	488	0.1153	0.1153
	]33.1 - 39.7]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]39.7 - 112.8]	10	48	142	488	-0.3341	0.3341
Direcção de Fluxo Máxima	[8 - 16]	13	34	142	488	0.2731	0.2731
	]17 - 32]	32	106	142	488	0.0368	0.0368
	]33 - 64]	62	223	142	488	-0.0455	0.0455
	]65 - 128]	35	125	142	488	-0.0385	0.0385
Litologia	Arenitos	17	28	142	488	0.7355	0.7355
	Arenitos e Argilas	24	70	142	488	0.1640	0.1640
	Arenitos e Conglomerados	0.99	3	142	488	0.1258	0.1258
	Arenitos e Pelitos	16	77	142	488	-0.3367	0.3367
	Arenitos, Argilas e Margas	2	7	142	488	-0.0183	0.0183
	Arenitos, Margas e Pelitos	51	115	142	488	0.4214	0.4214
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	37	142	488	-2.3865	2.3865
	Margas e Arenitos	1	12	142	488	-1.2504	1.2504
	Margas, Argilas e Arenitos	8	52	142	488	-0.6373	0.6373
	Pelitos e Arenitos	23	87	142	488	-0.0959	0.0959
Estrutura	A Favor do Declive	32	116	142	488	-0.0534	0.0534
	Contra o Declive	80	236	142	488	0.1527	0.1527
	Paralelo ao Declive	30	99	142	488	0.0406	0.0406
	Variável	0.99	37	142	488	-2.3865	2.3865
Falhas	Presente	19	60	142	488	0.0846	0.0846
	Ausente	123	428	142	488	-0.0125	0.0125

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Protecção Sopé	Blocos	6	15	142	488	0.3182	0.3182
	Plataforma	3	10	142	488	0.0305	0.0305
	Plataforma com Blocos	21	71	142	488	0.0163	0.0163
	Praia	33	165	142	488	-0.3749	0.3749
	Praia com Blocos	24	57	142	488	0.3695	0.3695
	Praia com Detritos de Movimentos	10	36	142	488	-0.0464	0.0464
	Praia com Estruturas Antrópicas	11	51	142	488	-0.2994	0.2994
	Praia com Plataforma	34	80	142	488	0.3788	0.3788
	Praia e Dunas	0.99	3	142	488	0.1258	0.1258
Exsurgências	Presente	17	35	142	488	0.5124	0.5124
	Ausente	125	453	142	488	-0.0531	0.0531
Sapas	Presente	19	40	142	488	0.4900	0.4900
	Ausente	123	448	142	488	-0.0581	0.0581
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	12	64	142	488	-0.4395	0.4395
	]19117.9 - 19547.5]	15	51	142	488	0.0107	0.0107
	]19547.5 - 20004.3]	16	49	142	488	0.1153	0.1153
	]20004.3 - 20532.7]	15	62	142	488	-0.1846	0.1846
	]20532.7 - 20857.5]	14	52	142	488	-0.0777	0.0777
	]20857.5 - 21608.0]	11	48	142	488	-0.2388	0.2388
	]21608.0 - 23625.7]	18	56	142	488	0.0995	0.0995
	]23625.7 - 24955.7]	14	40	142	488	0.1847	0.1847
	]24955.7 - 26027.5]	14	34	142	488	0.3472	0.3472
	]26027.5 - 27253.6]	13	32	142	488	0.3337	0.3337

Anexo 2

Inventário 1947-1980

Tabela 11.4 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 10m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[10 - 22.4]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]22.4 - 26.2]	11	193	134	1928	-0.1984	0.1984
	]26.2 - 29.8]	15	193	134	1928	0.1118	0.1118
	]29.8 - 32.9]	20	193	134	1928	0.3994	0.3994
	]32.9 - 39.9]	7	193	134	1928	-0.6504	0.6504
	]39.9 - 46.0]	7	193	134	1928	-0.6504	0.6504
	]46.0 - 52.1]	19	193	134	1928	0.3481	0.3481
	]52.1 - 64.9]	15	193	134	1928	0.1118	0.1118
	]64.9 - 71.8]	10	192	134	1928	-0.2885	0.2885
	]70.9 - 80.7]	18	192	134	1928	0.2993	0.2993
Declive Máximo (m)	[9.0 - 44.4]	6	193	134	1928	-0.8045	0.8045
	]44.4 - 51.1]	10	193	134	1928	-0.2937	0.2937
	]51.1 - 56.3]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]56.3 - 60.8]	18	193	134	1928	0.2941	0.2941
	]60.8 - 63.9]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]63.9 - 66.3]	10	193	134	1928	-0.2937	0.2937
	]66.3 - 68.7]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]68.7 - 71.1]	21	193	134	1928	0.4482	0.4482
	]71.1 - 74.4]	17	192	134	1928	0.2421	0.2421
	]74.4 - 82.2]	16	192	134	1928	0.1815	0.1815
Declive Médio (m)	[1.7 - 24.9]	6	193	134	1928	-0.8045	0.8045
	]24.9 - 29.9]	6	193	134	1928	-0.8045	0.8045
	]29.9 - 33.7]	8	193	134	1928	-0.5168	0.5168
	]33.7 - 37.1]	11	193	134	1928	-0.1984	0.1984
	]37.1 - 40.0]	15	193	134	1928	0.1118	0.1118
	]40.0 - 43.1]	22	193	134	1928	0.4948	0.4948
	]43.1 - 46.4]	17	193	134	1928	0.2369	0.2369
	]46.4 - 49.6]	17	193	134	1928	0.2369	0.2369
	]49.6 - 53.9]	10	192	134	1928	-0.2885	0.2885
	]53.9 - 67.8]	22	192	134	1928	0.4999	0.4999

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Exposição (°)	Flat	1	2	134	1928	1.9632	1.9632
	N	6	100	134	1928	-0.1470	0.1470
	NE	2	33	134	1928	-0.1370	0.1370
	E	1	4	134	1928	1.2701	1.2701
	SE	0	0	134	1928	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	12	134	1928	0.1815	0.1815
	SW	17	210	134	1928	0.1525	0.1525
	W	44	757	134	1928	-0.1788	0.1788
	NW	64	810	134	1928	0.1282	0.1282
Curvatura Planta	-2	4	40	134	1928	0.3638	0.3638
	-1	28	307	134	1928	0.2718	0.2718
	0	91	1349	134	1928	-0.0299	0.0299
	1	10	230	134	1928	-0.4691	0.4691
	2	1	2	134	1928	1.9733	1.9733
Direcção de Fluxo Média	[1.1 - 11.7]	18	193	134	1928	0.2941	0.2941
	]11.7 - 15.6]	7	193	134	1928	-0.6504	0.6504
	]15.6 - 16.8]	11	193	134	1928	-0.1984	0.1984
	]16.8 - 19.8]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]19.8 - 24.2]	12	193	134	1928	-0.1114	0.1114
	]24.2 - 28.3]	24	193	134	1928	0.5818	0.5818
	]28.3 - 31.2]	14	193	134	1928	0.0428	0.0428
	]31.2 - 33.5]	9	193	134	1928	-0.3991	0.3991
	]33.5 - 42.9]	14	192	134	1928	0.0480	0.0480
	]42.9 - 125.4]	13	192	134	1928	-0.0261	0.0261
Direcção de Fluxo Máxima	[2 - 16]	23	305	134	1928	0.0816	0.0816
	]17 - 32]	48	667	134	1928	0.0348	0.0348
	]33 - 64]	52	733	134	1928	0.0205	0.0205
	]65 - 128]	11	223	134	1928	-0.3429	0.3429
Litologia	Arenitos	15	119	134	1928	0.5953	0.5953
	Arenitos e Argilas	31	270	134	1928	0.5020	0.5020
	Arenitos e Conglomerados	0.99	10	134	1928	0.3538	0.3538
	Arenitos e Pelitos	23	305	134	1928	0.0816	0.0816
	Arenitos, Argilas e Margas	4	29	134	1928	0.6854	0.6854
	Arenitos, Margas e Pelitos	36	451	134	1928	0.1385	0.1385
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	144	134	1928	-2.3135	2.3135
	Margas e Arenitos	2	51	134	1928	-0.5723	0.5723
	Margas, Argilas e Arenitos	3	209	134	1928	-1.5773	1.5773
	Pelitos e Arenitos	20	340	134	1928	-0.1668	0.1668
Estrutura	A Favor do Declive	40	448	134	1928	0.2505	0.2505
	Contra o Declive	75	948	134	1928	0.1295	0.1295
	Paralelo ao Declive	19	388	134	1928	-0.3502	0.3502
	Variável	0.99	144	134	1928	-2.3135	2.3135

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Falhas	Presente	13	156	134	1928	0.1815	0.1815
	Ausente	121	1772	134	1928	-0.0177	0.0177
Proteção Sopé	Blocos	10	60	134	1928	0.8746	0.8746
	Plataforma	8	37	134	1928	1.1349	1.1349
	Plataforma com Blocos	16	286	134	1928	-0.2170	0.2170
	Praia	43	673	134	1928	-0.0841	0.0841
	Praia com Blocos	15	223	134	1928	-0.0327	0.0327
	Praia com Detritos de Movimentos	6	138	134	1928	-0.4691	0.4691
	Praia com Estruturas Antrópicas	12	187	134	1928	-0.0798	0.0798
	Praia com Plataforma	24	315	134	1928	0.0919	0.0919
	Praia e Dunas	0.99	9	134	1928	0.4591	0.4591
Exsurgências	Presente	4	36	134	1928	0.4692	0.4692
	Ausente	130	1892	134	1928	-0.0115	0.0115
Sapas	Presente	7	80	134	1928	0.2303	0.2303
	Ausente	127	1848	134	1928	-0.0113	0.0113
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	16	244	134	1928	-0.0582	0.0582
	]19117.9 - 19547.5]	18	213	134	1928	0.1955	0.1955
	]19547.5 - 20004.3]	16	196	134	1928	0.1609	0.1609
	]20004.3 - 20532.7]	6	241	134	1928	-1.0266	1.0266
	]20532.7 - 20857.5]	17	198	134	1928	0.2113	0.2113
	]20857.5 - 21608.0]	16	194	134	1928	0.1711	0.1711
	]21608.0 - 23625.7]	12	224	134	1928	-0.2603	0.2603
	]23625.7 - 24955.7]	12	157	134	1928	0.0951	0.0951
	]24955.7 - 26234.7]	13	194	134	1928	-0.0365	0.0365
	]26234.7 - 27253]	8	67	134	1928	0.5411	0.5411

Tabela 11.5 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 20m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[11,9 - 23.3]	9	97	88	969	0.0214	0.0214
	]23.3 - 26.5]	5	97	88	969	-0.5663	0.5663
	]26.5 - 30.0]	11	97	88	969	0.2221	0.2221
	]30.0 - 33.4]	13	97	88	969	0.3892	0.3892
	]33.4 - 40.1]	5	97	88	969	-0.5663	0.5663
	]40.1 - 46.2]	4	97	88	969	-0.7895	0.7895
	]46.2 - 53.4]	11	97	88	969	0.2221	0.2221
	]53.4 - 66.0]	9	97	88	969	0.0214	0.0214
	]66.0 - 72.0]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]72.0 - 80.7]	13	96	88	969	0.3995	0.3995
Declive Máximo (m)	[20.8 - 47.4]	3	97	88	969	-1.0772	1.0772
	]47.4 - 54.2]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]54.2 - 59.2]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]59.2 - 63.0]	6	97	88	969	-0.3840	0.3840
	]63.0 - 66.0]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]66.0 - 67.9]	11	97	88	969	0.2221	0.2221
	]67.9 - 70.1]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]70.1 - 72.2]	17	97	88	969	0.6574	0.6574
	]72.2 - 75.6]	6	97	88	969	-0.3840	0.3840
	]75.6 - 82.2]	13	96	88	969	0.3995	0.3995
Declive Médio (m)	[10.4 - 25.3]	4	97	88	969	-0.7895	0.7895
	]25.3 - 29.8]	5	97	88	969	-0.5663	0.5663
	]29.8 - 33.9]	6	97	88	969	-0.3840	0.3840
	]33.9 - 37.1]	8	97	88	969	-0.0963	0.0963
	]37.1 - 40.3]	5	97	88	969	-0.5663	0.5663
	]40.3 - 42.6]	18	97	88	969	0.7146	0.7146
	]42.6 - 46.2]	10	97	88	969	0.1268	0.1268
	]46.2 - 48.9]	11	97	88	969	0.2221	0.2221
	]48.9 - 53.3]	7	97	88	969	-0.2299	0.2299
	]53.3 - 65.8]	14	96	88	969	0.4736	0.4736
Exposição (°)	Flat	0	0	88	969	#DIV/0!	#DIV/0!
	N	6	36	88	969	0.6072	0.6072
	NE	1	19	88	969	-0.5455	0.5455
	E	1	3	88	969	1.3003	1.3003
	SE	0	0	88	969	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	6	88	969	0.5971	0.5971
	SW	10	112	88	969	-0.0170	0.0170
	W	28	375	88	969	-0.1958	0.1958
	NW	42	418	88	969	0.1011	0.1011

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Curvatura Planta Média	-2	0.99	5	88	969	0.7794	0.7794
	-1	13	94	88	969	0.4206	0.4206
	0	71	808	88	969	-0.0330	0.0330
	1	4	61	88	969	-0.3257	0.3257
	2	0.99	1	88	969	2.3889	2.3889
Direcção de Fluxo Média	[4.1 - 11.9]	11	97	88	969	0.2221	0.2221
	]11.9 - 15.8]	4	97	88	969	-0.7895	0.7895
	]15.8 - 17.2]	6	97	88	969	-0.3840	0.3840
	]17.2 - 20.5]	9	97	88	969	0.0214	0.0214
	]20.5 - 24.4]	10	97	88	969	0.1268	0.1268
	]24.4 - 28.2]	12	97	88	969	0.3091	0.3091
	] -28.2 - 31.0]	12	97	88	969	0.3091	0.3091
	]31.0 - 33.4]	5	97	88	969	-0.5663	0.5663
	]33.4 - 40.9]	9	97	88	969	0.0214	0.0214
	]40.9 - 124.3]	10	96	88	969	0.1372	0.1372
Direcção de Fluxo Máxima	[8 - 16]	12	110	88	969	0.1834	0.1834
	]17 - 32]	24	271	88	969	-0.0251	0.0251
	]33 - 64]	37	421	88	969	-0.0328	0.0328
	]65 - 128]	15	167	88	969	-0.0110	0.0110
Litologia	Arenitos	10	57	88	969	0.6585	0.6585
	Arenitos e Argilas	20	137	88	969	0.4747	0.4747
	Arenitos e Conglomerados	0.99	5	88	969	0.7794	0.7794
	Arenitos e Pelitos	14	153	88	969	0.0075	0.0075
	Arenitos, Argilas e Margas	3	14	88	969	0.8585	0.8585
	Arenitos, Margas e Pelitos	22	227	88	969	0.0650	0.0650
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	73	88	969	-1.9016	1.9016
	Margas e Arenitos	2	26	88	969	-0.1660	0.1660
	Margas, Argilas e Arenitos	2	105	88	969	-1.5619	1.5619
	Pelitos e Arenitos	15	172	88	969	-0.0405	0.0405
Estrutura	A Favor do Declive	25	230	88	969	0.1797	0.1797
	Contra o Declive	52	473	88	969	0.1911	0.1911
	Paralelo ao Declive	11	193	88	969	-0.4659	0.4659
	Variável	0.99	73	88	969	-1.9016	1.9016
Falhas	Presente	10	93	88	969	0.1689	0.1689
	Ausente	78	876	88	969	-0.0197	0.0197

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Protecção Sopé	Blocos	7	30	88	969	0.9436	0.9436
	Plataforma	4	20	88	969	0.7895	0.7895
	Plataforma com Blocos	11	144	88	969	-0.1730	0.1730
	Praia	26	334	88	969	-0.1541	0.1541
	Praia com Blocos	9	111	88	969	-0.1134	0.1134
	Praia com Detritos de Movimentos	4	70	88	969	-0.4633	0.4633
	Praia com Estruturas Antrópicas	9	97	88	969	0.0214	0.0214
	Praia com Plataforma	18	158	88	969	0.2267	0.2267
	Praia e Dunas	0.99	5	88	969	0.7794	0.7794
Exsurgências	Presente	5	36	88	969	0.4248	0.4248
	Ausente	83	933	88	969	-0.0206	0.0206
Sapas	Presente	7	52	88	969	0.3936	0.3936
	Ausente	81	917	88	969	-0.0277	0.0277
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	12	124	88	969	0.0636	0.0636
	]19117.9 - 19547.5]	11	105	88	969	0.1429	0.1429
	]19547.5 - 20004.3]	8	98	88	969	-0.1066	0.1066
	]20004.3 - 20532.7]	4	122	88	969	-1.0188	1.0188
	]20532.7 - 20857.5]	12	101	88	969	0.2687	0.2687
	]20857.5 - 21608.0]	10	96	88	969	0.1372	0.1372
	]21608.0 - 23625.7]	10	114	88	969	-0.0347	0.0347
	]23625.7 - 24955.7]	9	78	88	969	0.2394	0.2394
	]24955.7 - 26027.5]	4	66	88	969	-0.4044	0.4044
	]26027.5 - 27253.6]	8	65	88	969	0.3040	0.3040

Tabela 11.6 - Valor Informativo para cada classe dos factores de predisposição para as unidades de terreno de 40m.

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Altura Máxima (m)	[12.1 - 23.9]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]23.9 - 27.7]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]27.7 - 30.3]	5	49	66	488	-0.2817	0.2817
	]30.3 - 34.8]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]34.8 - 40.6]	4	49	66	488	-0.5049	0.5049
	]40.6 - 46.5]	5	49	66	488	-0.2817	0.2817
	]46.5 - 54.3]	10	49	66	488	0.4114	0.4114
	]54.3 - 66.9]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]66.9 - 72.2]	6	48	66	488	-0.0788	0.0788
	]72.2 - 80.7]	8	48	66	488	0.2089	0.2089
Declive Máximo (m)	[24.2 - 51.2]	3	49	66	488	-0.7925	0.7925
	]51.2 - 57.1]	4	49	66	488	-0.5049	0.5049
	]57.1 - 62.8]	4	49	66	488	-0.5049	0.5049
	]62.8 - 66.1]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]66.1 - 67.7]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]67.7 - 69.8]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]69.8 - 71.9]	11	49	66	488	0.5067	0.5067
	]71.9 - 73.8]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]73.8 - 77.0]	3	48	66	488	-0.7719	0.7719
	]77.0 - 82.2]	13	48	66	488	0.6944	0.6944
Declive Médio (m)	[11.7 - 25.7]	3	49	66	488	-0.7925	0.7925
	[25.7 - 30.2]	4	49	66	488	-0.5049	0.5049
	]30.2 - 34.2]	2	49	66	488	-1.1980	1.1980
	]34.2 - 37.3]	5	49	66	488	-0.2817	0.2817
	]37.3 - 40.0]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]40.0 - 42.6]	13	49	66	488	0.6738	0.6738
	]42.6 - 45.8]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]45.8 - 48.5]	7	49	66	488	0.0548	0.0548
	]48.5 - 52.8]	8	48	66	488	0.2089	0.2089
	]52.8 - 64.3]	10	48	66	488	0.4320	0.4320
Exposição (°)	Flat	0	0	66	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	N	3	11	66	488	0.7014	0.7014
	NE	1	3	66	488	0.8920	0.8920
	E	1	2	66	488	1.3075	1.3075
	SE	0	0	66	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	S	1	2	66	488	1.2975	1.2975
	SW	7	53	66	488	-0.0237	0.0237
	W	26	196	66	488	-0.0194	0.0194
	NW	29	221	66	488	-0.0302	0.0302

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Curvatura Planta Média	-2	0	0	66	488	#DIV/0!	#DIV/0!
	-1	5	22	66	488	0.51905612	0.51905612
	0	59	452	66	488	-0.0354841	0.03548407
	1	2	14	66	488	0.05475051	0.05475051
	2	0	0	66	488	#DIV/0!	#DIV/0!
Direcção de Fluxo Média	[6.2 - 13.2]	7	49	66	488	0.0548	0.0548
	]13.2 - 16.0]	5	49	66	488	-0.2817	0.2817
	]16.0 - 18.4]	4	49	66	488	-0.5049	0.5049
	]18.4 - 21.4]	7	49	66	488	0.0548	0.0548
	]21.4 - 25.6]	10	49	66	488	0.4114	0.4114
	]25.6 - 28.2]	8	49	66	488	0.1883	0.1883
	]28.2 - 30.8]	6	49	66	488	-0.0994	0.0994
	]30.8 - 33.1]	7	49	66	488	0.0548	0.0548
	]33.1 - 39.7]	5	48	66	488	-0.2611	0.2611
	]39.7 - 112.8]	7	48	66	488	0.0754	0.0754
Direcção de Fluxo Máxima	[8 - 16]	6	34	66	488	0.2661	0.2661
	]17 - 32]	17	106	66	488	0.1704	0.1704
	]33 - 64]	24	223	66	488	-0.2285	0.2285
	]65 - 128]	19	125	66	488	0.1168	0.1168
Litologia	Arenitos	8	28	66	488	0.7479	0.7479
	Arenitos e Argilas	14	70	66	488	0.3912	0.3912
	Arenitos e Conglomerados	0.99	3	66	488	0.8920	0.8920
	Arenitos e Pelitos	11	77	66	488	0.0548	0.0548
	Arenitos, Argilas e Margas	2	7	66	488	0.7479	0.7479
	Arenitos, Margas e Pelitos	18	115	66	488	0.1461	0.1461
	Argilas gipsíferas e salíferas	0.99	37	66	488	-1.6203	1.6203
	Margas e Arenitos	1	12	66	488	-0.4842	0.4842
	Margas, Argilas e Arenitos	2	52	66	488	-1.2574	1.2574
Estrutura	Pelitos e Arenitos	10	87	66	488	-0.1627	0.1627
	A Favor do Declive	18	116	66	488	0.1374	0.1374
	Contra o Declive	39	236	66	488	0.2004	0.2004
	Paralelo ao Declive	9	99	66	488	-0.3972	0.3972
Falhas	Variável	0.99	37	66	488	-1.6203	1.6203
	Presente	10	60	66	488	0.2089	0.2089
	Ausente	56	428	66	488	-0.0331	0.0331

	Classe	Si	Ni	S	N	Ii	|Ii|
Protecção Sopé	Blocos	5	15	66	488	0.9020	0.9020
	Plataforma	2	10	66	488	0.3912	0.3912
	Plataforma com Blocos	8	71	66	488	-0.1826	0.1826
	Praia	18	165	66	488	-0.2149	0.2149
	Praia com Blocos	8	57	66	488	0.0371	0.0371
	Praia com Detritos de Movimentos	3	36	66	488	-0.4842	0.4842
	Praia com Estruturas Antrópicas	8	51	66	488	0.1483	0.1483
	Praia com Plataforma	14	80	66	488	0.2577	0.2577
	Praia e Dunas	0.99	3	66	488	0.8920	0.8920
Exsurgências	Presente	8	35	66	488	0.5248	0.5248
	Ausente	58	453	66	488	-0.0548	0.0548
Sapas	Presente	7	40	66	488	0.2577	0.2577
	Ausente	59	448	66	488	-0.0266	0.0266
Potência Ondulação	[18410.3 - 19117.9]	8	64	66	488	-0.0788	0.0788
	]19117.9 - 19547.5]	9	51	66	488	0.2661	0.2661
	]19547.5 - 20004.3]	5	49	66	488	-0.2817	0.2817
	]20004.3 - 20532.7]	4	62	66	488	-0.7402	0.7402
	]20532.7 - 20857.5]	9	52	66	488	0.2466	0.2466
	]20857.5 - 21608.0]	7	48	66	488	0.0754	0.0754
	]21608.0 - 23625.7]	7	56	66	488	-0.0788	0.0788
	]23625.7 - 24955.7]	7	40	66	488	0.2577	0.2577
	]24955.7 - 26027.5]	4	34	66	488	-0.1394	0.1394
	]26027.5 - 27253.6]	6	32	66	488	0.3267	0.3267